

Journal of Plasma and Fusion Research

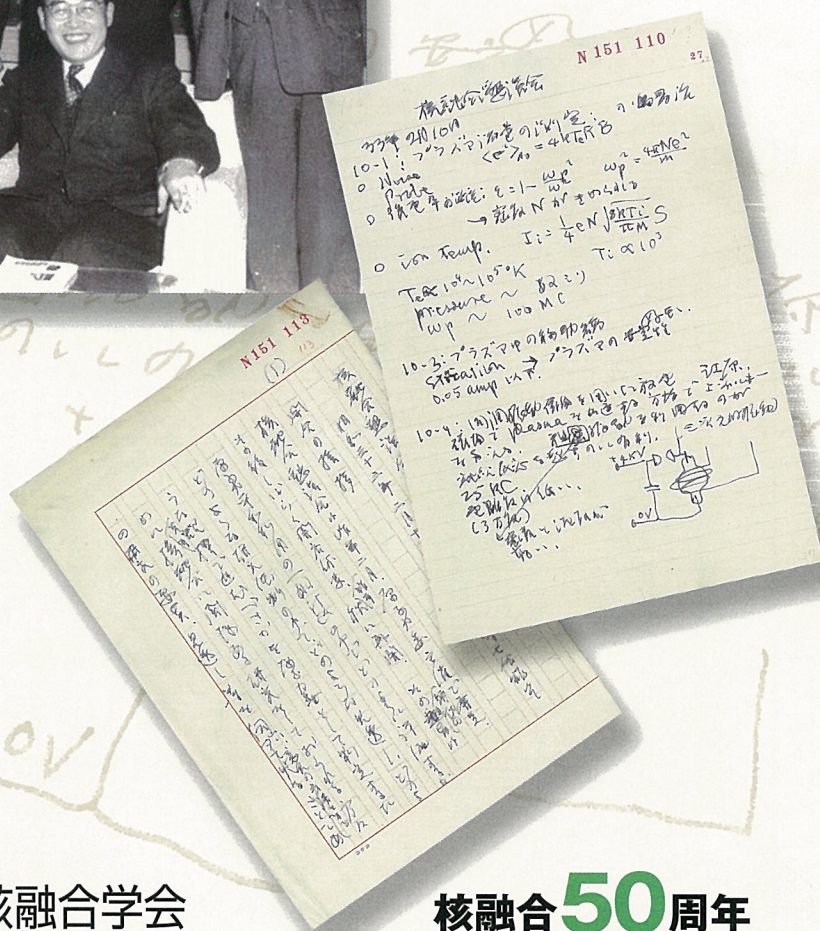
プラズマ・核融合学会誌

VOL.84 特集号

特集

我が国における核融合の歴史と将来展望

History and Prospects of Fusion Research in Japan



社団法人 プラズマ・核融合学会

The Japan Society of Plasma Science and Nuclear Fusion Research

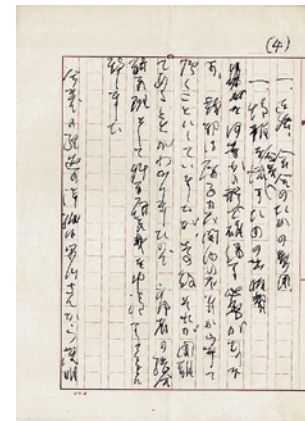
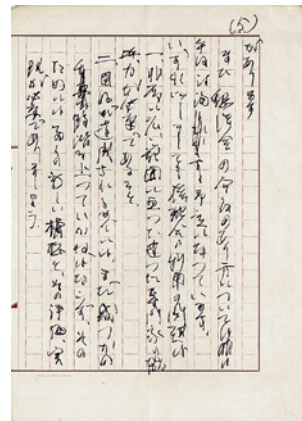
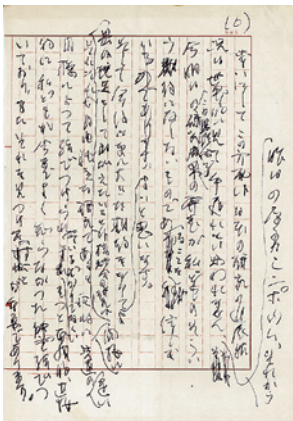
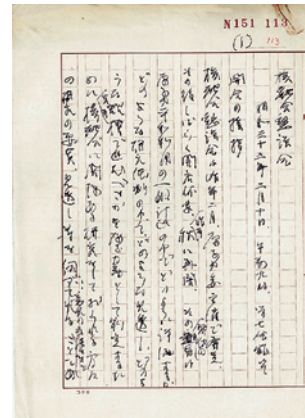
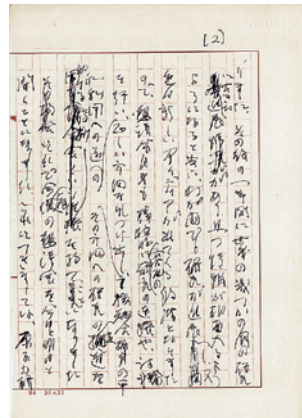
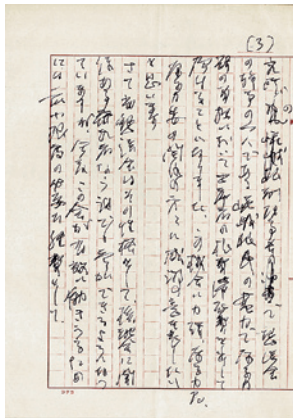
<http://www.jspf.or.jp/>

核融合50周年
記念事業

湯川秀樹氏の核融合懇談会設立における開会挨拶（手書き原稿）

謝辞：ここに掲載する資料は、京都大学基礎物理学研究所湯川記念館史料室から提供を受けました。

手書き原稿の翻刻に当たっては、核融合科学研究所名誉教授大林治夫氏及び国文学研究資料館五島敏芳氏に援助いただきました。



湯川秀樹氏挨拶

核融合懇談会

昭和三十三年二月十日 午前九時 学士会館にて

開会の挨拶

核融合懇談会は昨年二月、原子力委主催で発足、その後しばらく開店休業。昨秋に再開、その頭初の趣旨は原子力平和利用の一般計画の中でどのような規模に進むべきかを原子力委として判定するために先ず核融合に関係ある研究をしておられる方々の研究の要点、見通し等を伺い、意見の交換をするのであります。その後一年間に世界の幾つかの国の研究に大きな進展があり、且つ情報が相当入るようになって共に、わが国でも研究が進展し、又色々新しいアイデアが出てくる段階となりましたので、懇談会自身も積極的に各方面の研究の連絡や、討論を行い、核融合の平和利用への道への正しい方向を見つけ出し、その方向への研究の促進を助ける場所を持つことになりました。それで今度の懇談会を今日明日と聞くことになりました。これにつきましては、原子力研究所の副理事長で懇談会の幹事の一人である嵯峨根氏の尽力で原子力研究の負担において出席者の旅費滞在費を出していただけたことになりました。この機会に力研、原子力局、原子力委の関係の方々に感謝の意を表したいと思っております。

さて当懇談会はその性格として、核融合に関係ある研究者なら誰でも参加できるようになっていますが、今後この会が有効に働かざるためには最小限度の必要経費として

一 連絡、会合のための費用

二 情報を会員へ流すための出版費

を何等かの形で確保する必要があります。頭初は原子力局関係の予算から出して頂くことにしていましたが、その後それが困難であることがわかりましたので、文部省の総合研究班として科学研究費を申請することに致しました。

今までの経過の詳細は早川さんから説明があります。

また、懇談会の今後の在り方については明日午後討論する予定になっています。いずれにしても核融合の利用の問題は

一 非常に広い範囲に亘った専門家の協力が必要であること
二 目的が達成されるまでは、まだ幾つかの段階を上がっていくかねばならず、そのためには多くの新しい構想と、その評価、実現が必要であります。

幸いにして、この方面は日本の研究の進展状況は世界的に見て手遅れとは思われません。昨日の原子力シンポジウム、それから今日のこの懇談会での研究成果の発表が私どものそういう期待に反しないものであることを信じ、そして今後更に大きな期待をかけてよいと思います。最後に、蛇足として付け加えたいことは核融合の研究はそれぞれに自由独立な研究であると同時に間接に共通の遠い目標によって結びつけられているばかりでなく、もっと本質的、直接的に私どもが今までよく知らなかった絆で結びついており、またそれを見つけ出すことが重要であります。

プラズマ・核融合学会誌

第84巻特集号

2008年10月

核融合 50 周年記念

「我が国における核融合の歴史と将来展望」

巻頭言	松田慎三郎，高村秀一	1
核融合の歴史を遺す座談会		
概要		2
黎明期・揺籃期		4
成長期		16
共同利用と共同研究		29
核融合研究と国際交流		39
「核融合の歴史を遺す座談会」出席者の紹介		53
核融合の現状と将来		
概要		55
メディアと核融合の対話—メディアは核融合をどう見ているか		57
産業界から見た核融合		69
総合化の流れの中で大学は何をなし得るか		77
若い世代は核融合研究の将来をどう描くか		82
フローチャートにみる核融合の50年		92
用語解説		98
おわりに		100

写真と資料の説明

表紙の写真は天文と原子核に関する合同セミナー、1955年2月14日京大湯川記念館、前列左から、畑中武夫(東大)、中村誠太郎(東大)、湯川秀樹(京大)、後列左から小尾信弥(東大)、林忠四郎(京大)、武谷三男(立教大)、早川幸男(京大)。セミナーの内容は「大宇宙の原子核反応を語る」として科学朝日1955年4月号に掲載。

資料は、湯川秀樹の核融合懇談会設立時挨拶の手書き原稿と当日のシンポジウムにおける手書きメモであり、表紙にその一部、表紙裏に挨拶文全文を、表紙裏の次のページには大学ノート表紙と当日のメモ全てを掲載した。

これらの写真および資料は京都大学基礎物理学研究所湯川記念館史料室のご好意による。



核融合50周年記念

「我が国における核融合の歴史と将来展望」

巻 頭 言

1950年代に手探りの段階から開始されたわが国の核融合研究開発は、国際協力による ITER への参加へと展開し、その建設活動が始まりました。さらに日欧の協力により、ITER の先の原型炉に向けた研究開発が幅広いアプローチ計画として開始されました。核融合研究開発は大きな転換期にあると言えます。

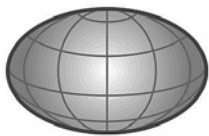
時まさに当学会は、本年（平成 20 年）その前身である核融合懇談会（初代会長：湯川秀樹先生）発足から 50 周年を迎えます。また、本年は当学会としても設立されてから 25 周年にあたります。核融合は先人達から引き継がれ、蓄積された知見を基に、今大きなステップを刻もうとしています。個々の研究者や技術者が半世紀の時間スケールの中で、核融合エネルギーの実現に向けて確かな役割を果たし、人類のために貢献することができれば、研究者・技術者冥利に尽きるものと思います。そのためには各自が行う活動の意義や位置づけをしっかりと理解することが重要ですが、世代を越えての核融合科学の展開やブレークスルーの流れを知り、研究開発全体を俯瞰することは必ずしも容易ではありません。

核融合 50 周年のこの節目に企画した本特集号は、日本におけるこれまでの核融合研究の発展の歴史を纏め、それを振り返りながら、現状と将来展望についての議論を喚起すること、そして、会員各自がそれぞれの活動の意義と位置づけを確認し、今後の活躍に資することを目的として、発案されました。今日ここにプラズマ・核融合学会誌別冊として特集号を発刊することができたことは望外の喜びです。

2008 年 10 月

プラズマ・核融合学会会長
前 プラズマ・核融合学会会長

松 田 慎三郎
高 村 秀 一



核融合 50 周年記念 「核融合の歴史を遺す座談会」

概 要

核融合 50 周年を記念し、「核融合の歴史を遺す座談会」を企画した。過去の 50 年のうち、大まかに 1970 年頃までを「黎明期・揺籃期」と、以降 1990 年頃までを「成長期」と考えて座談会を開催した。この時代分けとは別に「共同利用と共同研究」と「核融合研究と国際交流」とを個別のテーマとして採りあげた。当時の事情について詳しい方々にご参加いただいた座談会においては、個々の事例紹介は極力避けて、我が国の核融合研究全体の流れを描写し、未来へのメッセージをいただくよう心懸けた。（藤田順治、難波忠清）

「黎明期・揺籃期」

まさに核融合の黎明期について語っていただくに相応しい大先達をお招きして、吉田善章氏の司会のもとにお話を伺った。当時、核融合研究が未だ学問として確立されていない状況、というより、そもそも学問として成り立つものかどうかさえ不確かな状況でありながら、「何か面白いものがあるぞ」と始められた研究、なんとしてでも核融合を成功させたい、という熱意と意気込みをもって研究を始められた経緯、核融合研究とは何であったか、について熱っぽく話していただいた。そして自らが未知の研究に邁進されただけでなく、関心を寄せる研究者と協力して、組織的研究が可能な環境を作り出すご苦労と熱意が、特別のこととしてではなく、ごく当たり前のように語られた。異なる分野の専門家が集まり、自ら道を切り拓いて行った開拓者精神は、今後も長く語り継がれるのみならず、きっとそれに続く研究者への励ましとなるであろう。現在、核融合研究・開発は、その規模と多様性の点で状況は当時とは大きく変わった。コミュニティと研究機関との関係の在り方を常に考えておくべきであるとの指摘や、また、ITER 時代を迎え、人材養成、予算など、ITER を使ってよい仕事ができるような環境作りが大切である、今までの ITER に対する投資や努力が無にならないように、との心構えなどが語られた。



「黎明期・揺籃期」座談会出席者：前列向かって左から伏見、山本；後列左から吉田、藤田、難波、川上、森の各氏

核融合の関連技術、要素技術などの技術の蓄積をもっと大切に考えて、核融合が身近なものであることを広報すべきである、夢へのチャレンジから困難へのチャレンジへ、等のご意見とともに、「今の核融合は世間知らずになってしまった。もっと国にも社会にも認めて貰えるように、丁寧な説明をするなど、いっそうの努力が必要である」という傾聴すべきコメントが印象に残る座談会であった。

「成長期」

黎明期、揺籃期を経て、我が国でも名古屋大学プラズマ研究所や日本原子力研究所において、より核融合を目指した研究が進められるようになった。しかし、当初は、基礎的な研究に力を注いでいたため、閉じ込めを念頭に置いた世界の研究からは取り残されていたといわざるを得ない状況であった。これを乗り越えるため、様々な努力がなされ、閉じ込めの研究を主眼においた計画がスタートした。また、京都大学、大阪大学、筑波大学、九州大学などで積極的に研究が進められ、戦国時代ともいわれるような、お互いに切磋琢磨する時代を迎えた。この時代を象徴するキーワードは「基礎研究から閉じ込め研究へ」とその帰結としての「多岐路線」と言えようが、これにより研究は著しく活性化した。ここで文部省科学研究費の果たした役割は大きく、その結果、炉工学関連研究の育成も図られ、世界に伍して研究が進められるようになった。

座談会是小川雄一氏の司会で始められ、話の導入としてプラズマ研究所設立の経緯、プラズマ研究所での研究を世界に通用するものにしないという伏見所長の危機意識、それによって始められた閉じ込めを意識した研究への移行等が話題とされた。文部省関係・科学技術庁関係での研究の進展、慣性核融合研究の生い立ちと国際的な役割、ITER の先駆けとも言える INTOR、トカマク対ヘリカル等々と様々な話題が織り交ぜられて話された。核融合科学研究所の設立に関連した学術審議会のワーキンググループにおいて、ポリティックスを排除して、純粋に学術的な議論を積

み上げたことが強調された。学問としての核融合研究と、エネルギーを取り出すことを目的とした研究との違い、それをどう整合させて行くか、また、社会に対する説明責任などについて話し合われた。難しいけれども対処すべき課題は多い。ここでも、「核融合がもっと社会に認められるような努力を！」というコメントに加え、「核融合研究は、現在でも未だ、既成概念にとらわれず、もっとアイデアを出すべき時期にある」、「人材育成の観点から大学の使命は大である」、「学術発信の重要性を再認識すべし」など、多くの未来へのメッセージが寄せられた。

「共同利用と共同研究」

核融合を専門とする研究者が未だいなかった時代、全国共同利用研究所を作ってプラズマの研究を進めようとして、原子核物理、天体物理、電気工学、放電、流体物理、統計物理の人など、様々な分野の専門家が、核融合という魅力に、また、プラズマという物質の第4の状態に惹かれて集まってきた。それがプラズマ物理の始まりであった。

西川恭治氏の司会で開かれた座談会では、こうして設立された名古屋大学プラズマ研究所の生立ちの記に始まり、装置の維持管理、プラズマ研究のための装置作りと装置の共同利用、所員の人事停滞など、共同利用研の問題点、大学の研究計画に対する影響などが話し合われた。東京大学原子核研究所を参考にしながらも、プラズマ研究の独自性を保持して設立・運営されたプラズマ研究所についてのアーカイブズによる概観（大林治夫氏）は、共同利用研究所の生立ちを知る上で有用なものであった。当時は実施されていなかった任期制の問題、研究と教育、外部との人事交流による人事の刷新が不可欠であるなどの問題点が話題となり、研究所が活動を続けられるには有限の寿命がある、中枢研究所としての役割と共同研究の場を提供する役割とを両立させ得る仕組みが必要であった、などの指摘も出された。共同利用研究所は、基礎的な学問の進展に大きな役割を果たしている。これらの反省は、現在の大学共同利用機関や全国の大学付置研究所において共同研究を進めようとするときに活かされるべき話であった。

続いて、プラズマ研究所共同研究を継承・発展させた核融合科学研究所の共同研究について紹介があり、特に双方向型共同研究など、「重点化」に象徴される今日の状況を反映した新しい形の共同研究にも話題が及んだ。また、最近の核融合の世界は、得られたものを守ろうとする姿勢に入っているのではないかと、将来計画を議論しようとする雰囲気は薄れてはいないか、核融合関連ネットワークは機能しているか、研究機関と核融合コミュニティとの関わり方が不十分ではないか、などの指摘があった。最後に、ITER時代への対応について論じられ、原子力機構での共同研究の促進、核融合科学研究所でのより積極的な参画など、オールジャパンとしての取り組みが必要であるというのが出席者の共通した意見であった。

「核融合研究と国際交流」

核融合研究の歴史を語るとき、国際交流の果たした役割を忘れることはできない。国際交流に経験豊かな参加者に、座談会というより、ミニ講演会のようなスタイルで次々に話をお聞きする結果となった。

プラズマ研究所が設立されて間もない頃に渡独され、以後、TEXTOR、日中協力、日米協力など、幅広く国際交流に携わって来られた宮原昭氏の話に始まり、市川芳彦氏から、初めて名古屋で開催された「プラズマ理工学国際会議」、日米協力、日ソ協力などについての話があった。次に、核融合のための材料研究一筋の石野栗氏から、FFTFのシャットダウンに関連してアメリカの議会で証言なさった話など、住田健二氏からRTNS-IIの苦労話等々、一筋縄では行かない国際協力について、裏話を交えて初めてお聞きする話の連続であった。日米協力のダブレット III 計画に関する狐崎晶雄氏の話は、今後の国際協力を進める上で大変参考になるものであった。続いて、苦米地頭氏から、ITERの始まりの頃の話、最後に田中和夫氏から、慣性核融合研究に関する日米交流の話があった。「成長期」の座談会でも話題となったが、軍事研究に関連して秘密主義を貫こうとする米国に対して、それを意味の無いものとさせた大阪グループの働きは、出席者に感銘を与えるものであった。この座談会で一番お聞きしたかった「何が国際交流に駆り立てたか」については、文化の違いに接したいという希求もさることながら、「より幅を広げたい、武者修行に出かけたい、という科学者の宿命によるものではなかろうか、やはりベースになるのは人と人とのつながりであろう。」というのが、出席者の共通認識であった。また、国際交流を実際に遂行する上では、思うようにことが運ばず、苛々の募ることも多々あったが、「お互いの文化に対する尊敬の気持が重要である」との指摘は、きわめて印象的であった。

この座談会で語られた経験は、20-40年以前のものであった。今日、国際交流・国際協力を巡る状況は大きく変化しており、その経験がそのままの形で今日の状況に活かされることは少ないであろう。しかし、語られた内容はほとんどが、時代や国際交流の相手国、研究テーマが違っても、国際交流・国際協力を進めるための財政上や、組織上の体制が整備されていない状況の下で、途を切り拓いてきた開拓者の経験であった。国際交流を進める上での「ノウ・ハウ」に留まらず、座談会記録の端々に読み取れるこの開拓者の気概こそが、未踏の領域への挑戦を宿命づけられた核融合分野の研究者が先達から学ぶべきものではなかろうか。

この座談会の司会は藤田順治が務めた。





「核融合の歴史を遺す座談会」

— 黎明期・揺籃期 —

この記事は、プラズマ・核融合学会が核融合研究の50周年を記念して企画した一連の座談会のうち「黎明期・揺籃期」に関する座談会の記録である。我が国の核融合研究を立ち上げ、今日の発展に至る道筋をつけられた先達からお話を聞ける貴重な機会となった。先達の新しい分野にける思い・情熱があつく語られ、したがって、その記録も膨大であったが、紙面の都合もあり、相当部分を座談会担当委員の責任において割愛せざるを得なかったことをお断りする。

日 時：平成19(2007)年12月19日(水) 14:00～17:00
場 所：東京大学山上会館
出席者(敬称略)：伏見康治、山本賢三、森茂、川上一郎、
藤田順治、難波忠清
司 会：吉田善章

吉田：本日の司会を務めます東京大学の吉田です。よろしくお願いたします。

ご案内に記載しましたように、宮島龍興先生からも出席のご返事をいただいていたのですが、大変残念なことに、先日急にお亡くなりになりました。まだ喪が明けないのですが、先生のご偉業をしのびつつ、今日予定通り開催させていただければと思います。

本日の座談会は、我が国における核融合研究の歴史と将来展望というテーマで、この分野の立ち上げをされた先生方からお話を聞くということが目的です。進め方ですが、最初に、この座談会がアレンジされた背景について、この企画を中心的に進めておられる藤田先生から説明をいただきます。その後で、主に三つのテーマで、ご議論いただければと考えています。まず一つは、学問論として、立ち上げの時期のお考え、それから核融合の実現に向けて今は道半ばですので、この先についての見通しについて、お話をお聞きたいと思っています。その次に、研究の体制の立ち上げについて、お話しいただきたいと考えています。もう一つは、核融合は国際的な協力であり、また競争でもありますので、国際的な戦略についてお考えをお聞きできればと思います。最初に、藤田先生から、説明をお願いします。



座談会全景

【座談会の背景説明】

藤田：今回のこの座談会は、プラズマ・核融合学会が主催する核融合 50 周年記念事業の一つとして企画されたものです。それから、数えて申しますと、伏見先生が 100 歳をお迎えになります。〈拍手〉

山本：おめでとうございます。

伏見：半分あの世に往ってます。

藤田：こうした節目に当たりまして、ぜひとも次の世代の研究者に何かを残そうと、難しい仕事ですが、歴史的な資料をまとめておこうと考えています。それから、個人的な見解になるかも知れませんが、最近の研究者は与えられたことはよくやる。けれども、自分ががむしゃらに、という気持ちが少し薄れてきているように思います。それを考えますと、先生方のように、核融合の黎明期に、うんと情熱をもって取り組まれた、そういった熱意をなんとか後世に伝えたいと強く感じています。この座談会は、その一つとして、黎明期・揺籃期という、この研究分野のスタート時点について、先生方のお話を聞き、記録に残そうという企画です。

山本：時代の分け方はどういうふうに考えているんですか？

藤田：「黎明期・揺籃期」、それから「成長期」、そして現在を「青年期」と考えています。現在は壮年期だという意見もありましたが、まだ炉もできていない、発電もできていないので、壮年とはいえない、今は青年期であろうということになりました。核融合の歴史として、成長期までを記述します。ほかに、共同利用と共同研究や国際交流といったことをテーマに座談会を行う計画です。およその年代分けとして、1955 年の第 1 回ジュネーブ会議のころから 1960 年プラズマ研究所ができる前の頃を黎明期と、それから、揺籃期は、名古屋大学プラズマ研究所ができて、日本原子力研究所でも活動が始まる 1970 年ころまでを考えています。

【この分野のはじまり】

○ 「核融合研究」とは何だったのか

吉田：では座談会を始めさせていただきます。藤田先生のご説明にありましたように、今はちょうど核融合の研究が始まって50年という年ですが、やはり核融合研究は長い道程だというのが第一印象です。黎明期、つまり核融合が新しい学問、新しい技術として立ち現れた時から50年経ち、さらに50年くらいの時間が必要であるということを考えると、核融合が学問あるいは技術の体系としてどういうものであるのか、我々の分野のアイデンティティを、この時期に分析しておくことが、この50周年企画の大きな意味だろうと思います。そこで、最初に「核融合」というアイディアが立ち現れたときのイメージ、それからこれまでの歴史をどのようにお考えかについてお話しいただきたいと思います。



吉田善章氏



伏見康治氏

伏見：あまりイメージがはっきりしない、出てこないですが、プラズマ研究所を作る前に、私が主として関わっていたのは原子核研究所なんですね。菊池正士という先生がいて、その先生を祭り上げたんですけれども、その時、研究所づくりに何をしたら良いかということについて、多少の経験を積んだわけです。核融合の研究所にお役に立つことができるのではないかと考えていたんですね。私は、自分自身が核融合の研究をやるというよりは、若い、はつらつとした方々が核融合の研究に向かうには、どんな舞台を作ったら良いか。舞台作りの方に関心が強かったわけで、私自身は結局何も研究してないと思います。要するに、研究所長にはなったけれども、皆様に、若い方々に研究をしていただく場所を提供するというのが私の主な役割であって、私自身が何かしようという気ではなかったですね。それが良かったか悪かったかはわからないのですが、とにかくそういう態度で私はやってきました。

吉田：核融合という新しいエネルギー源の可能性がありそうだ、ということは、おそらく物理学者の間で情報の交換があって、その研究を日本で始めるため、研究所づくりをお考えになったということだと思います。核融合というのは一つの物理的プロセスですが、「核融合研究」というものを立ち上げるには、いろいろなものを束ねなくてはならないと思うのですが、その時の核融合研究というもののイメージは、どんなものだったのでしょうか？つまり、どういった専門家を集めれば、こういうものができるとはいかという、そういったふうな、立ち上げの時期のエキサ

イトメントがあったらと想像します。

伏見：要するに、核融合研究というのは、結局、非常に高温高密度の物質を作るところにあるというわけなんで、その意味で、巨大なコンデンサーバンクを作って、一時に小さなところで放電を行って、高温状態を作り出すということが皆さんの頭の中であって、そういう意味で、いろんな仕事が始まったわけで、いかに小さな放電の場所に、巨大なコンデンサーバンクに溜まったエネルギーを集中して、放出するかということですね。それをめざすということだけが当時の核融合研究の具体的なイメージだったんです。

森：核融合研究というのは、原子爆弾が比較的簡単にできたので、それなら核融合もすぐできるだろうと思って、アメリカで一部の学者がたきつけたわけですね。当時は秘密研究だった。昭和30年の第1回のジュネーブ会議（注：1955年8月、ジュネーブで開催された「第1回原子力平和利用国際会議」）で議長を務めたインドのバーバー博士が、熱核融合の平和利用という課題を指摘し、開会挨拶で、「20年以内に制御された形で核融合エネルギーを解放する方策が見つね出されるであろう」と予言した（Proceedings of the First International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy (Geneva, August 8 – 20, 1955) Session 1, Opening Session (p. 35)）。この会議が開かれる前に、日本には、秘密裏にそんな研究が行われているということは伝わっていたんですよ。東大の宮本研には、大河千弘さんがいて、大河さんは知ってたんです。カーストという加速器の先生の研究室にいて、カーストはそれに関わっていたから。しかし、大河さんは、その内容は何も話してくれませんでした。東大の理学部で始まったのは、そんな縁からです。そのうち、ポストのレビューが‘Review of Modern Physics’（1956年7月号）に出た。あれでいっぺんに学問ということに上がってきた。その時は、みんなアメリカも含めて、わりに早くできるんじゃないかと思っていた。原子力で成功したものだから。簡単に原爆ができたし、水爆はもうそのときできてたんでしょね。第五福竜丸の被爆が昭和20年代ですね。（注：1954(昭和29)年3月1日）。だから、やればできるもんだというので、少し大きなものを作ればというので、そこで伏見先生の話につながって、高温にして、小さなところに圧縮して高温・高密度のプラズマを作ればいいと考えられていた。それで、日本でも考え始めた。第2回のジュネーブ会議へ、確か、湯川秀樹先生と物理屋さんが2〜3人行って、それで核融合をやらなくてはいかんなど、湯川先生が言いだされたということを漏れ伺っています。

山本：藤岡由夫さん、菊池さんかな。

（注：藤岡由夫は、第1回のジュネーブ会議に参加したが、第2回には参加していない。また、菊池正士は、第1-3回いずれの会議にも参加した記録はない。第2回ジュネーブ会議に参加した核融合に馴染みのある研究者としては、宮本梧楼、橋口隆吉、向坊隆、山田太三郎、豊田利幸などの名前が記録に残されている。そ

の内、宮本と豊田が「核融合担当」とされた。）

森：湯川先生はそれからの縁で、原子力委員会にもいろいろ面倒を見ていただいて、それから理論的にもリードしていただいたんですね。その辺が一番初めだと思うんですよ。秘密が漏れて来て、みんな血の気の多いのが、学問的体系はできていなくても、なんとか飛びついてやろう、面白いからやろうということですからね。吉田さんの話を伺ってね、吉田さんは、もう核融合を学問として見ているわけですね。我々は何か面白そうだ、ということで、学問と思いません。面白いテーマがあるということで、特に宮本研などには血の気の多いのがたくさんいましたからね、飛びついたわけです。学問になるなんて考えもしなかった。



森茂氏

吉田：新しい「テーマ」が立ち現れたわけですね。

森：クルチャトフが、第2回のジュネーブ会議の前の1956年4月にHarwell研究所で核融合の講演をしました。また、Harwell研究所もピンチの実験やZETAの結果を発表しました。そのころから大分広がりましたね。

藤田：その東大での動きと、それから、京都、大阪辺り、関西での動きとは、何かつながりは、あったのでしょうか？完全に独立だったのですか？

森：最初は独立ですよ。

川上：いろんな分野の人が入ってきましたよね。阪大の超高温の溶接工学の岡田実先生。

森：一緒になるとは思わなかったでしょう。川上さん、苦労なさったと思いますよ。関東勢のプラズマ研究と大阪のとは、全然別でしたから。大阪の方は、ニュートロンが出たとか、何とか言いますし、東京の方はびっくりして、「ええっ？」と。仲が悪かったですね。

藤田：京都ではわりに理論屋さんが多かったのですか？林忠四郎先生とか。

川上：天体物理の人たちです。

森：天体の人は、核融合でエネルギーが出ることは知っていたし、なんでそんなにびっくりしているの？と思ってたでしょうね。それが地上でできるというのはね、実験屋にとっては大きなテーマだったわけですね。望みと言うか。

○ 核融合反応懇談会の開催へ

山本：最初、湯川先生が、核融合反応懇談会を開きましたね。あの時の顔ぶれは誰が決めたんですか？原子力委員の石川一郎、藤岡、有沢広巳、湯川、これが原子力委員なんです。それから、駒形作次さんが原研の理事長。嵯峨根遼吉さん、杉本朝雄さん、後藤以紀さん、電気試験所ですね。それから、岡田実さん、伏見先生、中村誠太郎、畑中武夫さん、本多侃士、武谷三男、林忠四郎、法貴四郎、こういうメンバー。伏見先生、あの時の顔ぶれは誰が決

めたんですか？（注：上記メンバーの内、武谷には案内状は発送された記録は残されているが、出席した記録はなく、また第2回の会合の時には、案内状が出された記録もない）。

伏見：誰なんだろうなあ。

山本：日本が核融合をどうするかという時、最初は湯川先生が、やろうと言いつけられて、先生そうでしたね。湯川先生は熱心でしたね。こういう顔ぶれを見ると、どういうイメージで核融合をとらえようとしたかを察することができます。原子力関係の人とか電気試験所、これは高電圧をやっている。岡田実さんが高温を出しているでしょう。伏見先生、それから、放電の本多侃士さん。畑中武夫さん、林忠四郎さんは天文で、大体そういう意味で、原子核の先生、原子力の経験者、電力、電気工学、それから放電ですね。核融合というのは、何かそのような分野の知識で組み立てられているように思われました。今から見ても尤もと言っては失礼だけど、研究分野的にバランスがとれている。誰がどう思っていたかは別として、湯川先生も大体そんなもんかなあと思っていらっしやったのでしょう。

伏見：そうなんでしょうね。

山本：その後すぐ懇談会も、もうちょっと人を補充しました。宮本梧楼先生とか、早川幸男さんとか。私も引っぱり出されました。その後の核融合専門部会の時には、大河千弘さんも入ってきました。その当時は、バウンダリーがどうなるかわからないけれど、ちょいちょい耳に入ってくるいろんなニュースがありまして、そういうのから察して、かなり大きな設備で、電気の非常に強いやつを流して、高温を発生して、そういうイメージで、なんとなく核融合を捉えていたのではないかと察するのです。高温のプラズマであるということは、だいたいみんな承知していましたから、高温プラズマの学問は中心になるだろうということは頭に置いていたでしょう。伏見先生が初期に旗を振られたときには、プラズマ研ができて、核融合と言わないで、プラズマの物理をやる、ということをやわれているわけですから、大体それが中心となった学問の分野であろうというような認識だった。しかし、いわゆる学問として、どういう基本原理で、核融合というものが組み立てられている、ということまで行っていなかったんではないかなあ。

森：わかってないから研究をするんだというような気概があった。

山本：星にあるだけです。天文ではずいぶんプラズマのことを書いてありますよ。星のプラズマ。スピッツァーはその当時、高温の完全電離プラズマの振る舞いというのを物理として、ちゃんと解析する仕方を書いていますからね。そのようなイメージは一部にあった。全体はちょっとわかんない。

○ 研究のスタート

吉田：いろいろなバックグラウンド、物理、電気、あるいは高温であるとか、そういうものが融合しようとした、そういう研究のスタートはどんなものだったのでしょうか。

核融合研究者の任意団体である核融合懇談会が結成されたと聞いておりますが、

森：我も我もというようなかたちで人が集まってきましたね。川上先生、良く知ってらっしゃるでしょう。

川上：私は、核融合懇談会ができて、それから日大に文献センターができて、その時から関係したわけですから、本当に初めの、最初のアクションがどこでどう取られたかという



川上一郎氏

のは、よく知らないのですが、みんな、面白そうだということで集まってきたと思います。でもその前に、伏見先生が、日本で原子力をやるべきだ、と言われてましたね、学術会議で。あれが

非常に大きかったと思います。あれがなかったら、核融合なんかやってられなかった。あれが、契機になったと思います。

伏見：そうかね。

川上：原子力というのは、日本もやるべきである、ということが学術会議で決まって、それをどうやっていくのかということで、民主・自主・公開の原子力利用三原則をうたった原子力基本法を含む原子力三法ができて、いわばルールができたんですね。当時は、原子力というと、原子爆弾と結びついた。学術会議での議論でも、そうですね。広島、長崎の被爆された先生方が猛烈に反対されましたね。マスコミも、ずっとそのことを伝えていました。しかし、やっぱりやるべきだということになって、いろんな法律を作って、ベースができたんですね。

森：原子力は、川上さんが言われるように研究者を二分した。

伏見：湯川先生は、日大グループとどうして関係があるの？

川上：日大に古田重二郎会頭という大物がいまして、原子力ブームが起こってきたときに、日大でも原子力を、原子炉を入れたいという発想を持ったのです。原子力センターを作りたいという話が起きました。それで、有名人である湯川先生にお願いして、原子力センターを作ってくれないかという話を、もってこられました。湯川先生は、核分裂の原子力は、もう大学でやるようなことではない。やるんだとしたら、核融合を中心とした研究をやるべきであると考えられた。ただ、核融合の実験設備をポンともってきても、それを動かす人が要るし、後継者も要るだろう。だからまず学科を作れということで、物理学科を作りました。（日大理工学部の）原子力研究所の方は、我々が行った時にも、表札はかかっているんですけど、もちろん設備もないし、みんなに聞いても、関係してないんですよ。実質的に原子力センターの方は消えて無くなって、物理教室で核融合を始めたわけです。

森：私が、吉村久光先生あたりから聞いているのは、物理

教室の中に原子力のグループができたときに、なにか2億円の枠があったんですって？それを使って核融合をやろうということになったんだと聞いたんですよ。それで非常に日大が、羽振りが良かった。

川上：そうです。あの頃では、国公立大学の中でも一番予算が多かった。

森：川崎栄一さんや横田昌広さんや吉村久光さんあたりががんばって、湯川先生はそれを核融合にうまく回したんだと、吉村さんから聞きましたよ。

川上：その代わり、1年に1回は、公開実験というものをやって、新聞記者を集めて、こういうプラズマができた、こういう実験ができたという、それをしなくてはならなかったんですね。その他いろんな話がありますけど、途中で装置がぶっ壊れちゃったんです。装置というものは壊れるということを知らなかったんです。そこでシューンとなつてしまつて。

森：頭の良い人ばかりだった。

川上：あるとき、もう文献センターがあったころですが、科学技術庁から電話があつて、アメリカのロスアラモスだったかオークリッジだったか研究者が来ているんだけど話を聞いてくれないかということで、都内の研究者に集ってもらつて日大へ来て話していただいた。講演が終わつてから、装置が壊れたという話をしたんですよ。そしたら、装置というのは壊れるものだ、という話を聞いて、それでみんな元気が出たというんですよ。その後、長いこと、コイルは何発衝撃電流を流せば壊れるかという実験をやっていました。それは、ずいぶん他の研究室にも役だったということです。本当に始まりです。

藤田：どういう装置ですか？

川上：ガラスのトーラスです。ちょっとひびが入ると、バツと壊れてしまう。

山本：湯川先生が熱心に核融合研究の旗を振られたということについてですが、湯川先生は、その前に原子力委員をしていて、面白くなくなって引っ込んでしまった。

伏見：そうだったかな。

山本：もう出てこないんですよ、東京にね。もう俗世間と縁を切つて、学問をやるのかと思つたら、今度は核融合という旗を振られたということで、どういうことなんだろうと、実は当時から聞きたかったことを今聞いているわけです。伏見先生、何かあつたんですか。

伏見：湯川さんがねえ。

山本：日大に、湯川さんがやれと言つたり。さらに、懇談会を作ることを勧められたわけでしょう。

伏見：湯川さんが日大と関係した結果、話題として、核融合ができた。

山本：現実の問題となつてきたわけですね。

伏見：つまり日大に新しいグループを作るときに、何を主な目的とするかというときに、普通の原子力はもう古いから、ということで、新しい分野を開拓するという湯川さんの考えでしょ。

山本：そうなんですか。

○ 研究の進め方をめぐって (A計画とB計画)

吉田：山本先生の本(山本賢三、『核融合の40年—日本が進めた巨大科学』, ERC 出版, 1998)を拝見しますと、特に理論関係の先生は、核融合はまだ遠いという印象をかなりお持ちで、大学で人材育成というところから出発すべきだというご発言がかなりあったことも紹介されています。たとえば、学術会議核融合特別委員会(通称:融特委)で、早川先生のご発言がここに書いてあるのですが、「先進国の後追いをやるのでは平行線になっていつまで経っても追いつかない、アイデアで勝負するべきである、学生を教育できる大学の地固めが必要だ」とあります。

山本：理論屋さんの早川幸男さんあたりは盛んにそういうことを言っていたね。僕は、逆に実験屋として、ものがなくては駄目だよと言っていた。さらに言えば、その頃すでに核融合を進めるには米国のスピッツァーや旧ソ連のアルツィモービッチは物理と技術を両輪として進めなければならないと啓発していた。

吉田：核融合の装置は、ハードウェア的には、真空装置の中で、パワーを入れて加熱するという意味ですから、加速器の研究をベースにすれば構想できる、というようなイメージだったのでしょうか。

森：と思っていた。だけど、いろいろやってみると、工学的なことが必要だということは物理屋でもわかりますよね。その意味で、山本先生が言われたような物理の人、電気工学の人、放電の人が入ってきた。宇宙線の方は、自分が核融合の専門だと思っているからね。早川さんみたいにね。確かに天体では核融合があるわけだから。そういう人がだんだん集まった。プラズマ研ができる前というのは、まず言葉が違うしね、考えるコースが違うから、何を最初に言うかというのが違うんですよ。それぞれ学問の、専門の違う人は、それでいろいろ、お上品に言えば、お互いに理解し合うのに時間がかかったということ。喧嘩してわかったというわけです、お互いに。

川上：僕は、あの喧嘩は、非常に良かったと思います。

森：わかるようになったものね。相手の言うことが。

川上：結局、それでその核融合懇談会が、きちっと固まった。

森：だって、ゼロだっていうのをどう理解するというのがみんな違うわけ、工学の人、物理の人。物理の方は、ゼロとは何か、そんなことない、絶対ないというし。絶対とは何ごとかと、そんなことで喧嘩してる。だけど、川上先生が言われたとおり。僕も賛成ですよ。あれでいろいろ馴染んできたから。それで、異業種の方が、異なる専門の人が集まってきた。だから核融合の方は強かったわけね、最初は。今はどうなんだろう。

川上：そのことは、今、問題みたいですね。要するに、昔は、核融合懇談会というのがあって、みんなが勝手なことを言えた。ところが今は、装置が大きくなる、お金はかか

るようになってきて、そう簡単にものが言えない。意思の疎通が良くなかったのではないかな。

森：金持ちはものを言わないのでしょうか。

山本：この話は、後から出てくるのでしょうか。それは、一つの大きな問題ですね。1961年はプラズマ研究所ができた年でしょ。その前の年に、森さんと二人で世界を回ったんです。森さん憶えていますか？

森：良く憶えていますよ。ショックだったから。

山本：その時にいろいろな印象があるんです。ヨーロッパに行ったときには、ちょうど嵯峨根先生が来てて、ZETAがHarwellの研究所にあって、そ



山本賢三氏

れを見ようというので、お供して行ったんです。そうすると、できてるんです、写真で見ると大きなZETAが、はっと見た時に、嵯峨根先生と顔を見合わせました。大きな、変圧器みたいなものがあって。嵯峨根さん、「何ですかこれは！」僕もえらい驚きました。これが10億円するのかね。嵯峨根さんは、「こんなものはおかしいよ。10億円もかかるわけないよ。そこらの発電所や電力にいくらかもあるではないか、その程度のもの」。私も電気屋だから、だいたいの常識でね、10億円という桁のものではないんです。おかしいやというんで、それで、トーマンという人と会って話をしたときに、嵯峨根さんが、私は長岡半太郎の息子だと言って自ら名乗って、「長岡半太郎というのは原子の模型を世界で最初に作ったが、お前知ってるか」。そんな話から始まって、「ZETAは10億円と言うけどそんなにからないだろう」、と言ったら、白状しましてね。実はそんなに使ってない。あとはみんな他の基礎研究に回しちゃった。そういう話で、嵯峨根さん、しみじみね、みんなやっとなる。お金が欲しいときには、大きなプロジェクトの基礎になる施設としてその中に含ませる要領がいる。

これは話のはじめで、ヨーロッパは一人で行ったのですが、アメリカでは森さんに加わっていただいて、二人でプリンストンに行きました。そこではスピッツァーも出てきましてね。大先生が言うには、その当時、Cステラレータは大きなやつですけれども、それができかけてたんです。そのとき、大きな装置というのはどういう意味をもつのか、森さんがいろいろと質問をされていました。それを聞いてましたらね、どうしてもプラズマというのは、大きなものでないとだめだ、大きいほど良いというのです。あの当時、日本では、なるべく小さくしろと。早川さんあたり、小さいのもって戦えと、その先頭に立っていた。しかし、スピッツァーは、やはりでかいのが要するというんです。だけど、あれは、ギャンブルです、と言ったんです。ずいぶんはっきり言うなと思いました。自分で計画しておきながら、

賭けでやるという。その後伺ってみると、スピッツァーさんは非常に紳士で、賭けなんてする人ではない。今様に言えば、新しい研究にはリスクがあると言われたと考えられます。

日本がプラズマ研究所を作るその前に、A計画、B計画の議論をして、菊池さんは、B計画を、大型を作るというんです。B計画を主張していた方の旗頭でした。菊池さんが外国旅行した時に、科学技術庁のお役人に、「オレのいない間に決めないでくれ、A計画のような基礎研究に傾(かし)いでしまうと日本がだめになる。大型の機械を作るB計画の方に行くことを願っているから、いないうちに勝手に決めないでくれ」、といって日本を出た。それで、プリンストンを見にきたら、あまり大きいんで、菊池先生、腰を抜かしちゃった。ちょうどCステラレータという当時世界で一番大きい装置。その電源だけで、丸ビルぐらいあるでかい建物。大きな発電機(MG)が4台並んでいたと思うんですがね。それで、びっくりしちゃって、あのくらいのことやらなくては駄目なんだよ。それで、菊池さん、ますます意を強くして、日本に帰ってこられたんです。結局、B計画は後回しになっちゃいましたけれども、後から考えてみると、やはり大型でないと、本当のプラズマはわからないことが良くわかりましたよ、JT-60をやってみて。でも、いきなり大きなものをやらないで、やはり小さいのから順番に積み上げていったという、そこに、日本が、まさに世界の見本みたいなことやったわけですね。小さくて、しっかりした勉強をしながら、だんだん大きくして、はじめてわかることがわかったという。その緒がちょうど黎明期なんです。だけど、すでに問題はもう我々の周りに盛んにあって、でかくするんだ、大きくなくては駄目だ、小さいのでしっかり勉強しろ、それが黎明期の大きな岐路になっていたと思うんですけどね。

森：100万度あたりに Radiation Barrier というのがあって、大きくないといい仕事ができないというのは、100万度を超えなくてはならないという意味だった。その当時は思わなかったのね。今から思えば、そうなんだけれど。

吉田：今の言葉でいえば、プラズマは非線形なので、大きさというのが非常に重要なファクタになるということでしょう。大きいものを作らないと、現象の本質が見えてこない。この分野の本質的な問題なんだろうと思います。そのことが、おそらくA計画・B計画の議論の中で、各先生方の直観の違いとなって現れた。

森：非線形と言うのは、まだ、昭和30年代には考えもしなかったでしょうからね。

【コミュニティの成立】

○ プラズマ研究所の設立

吉田：第二のテーマである研究者のコミュニティがいかに形成されたかについて、すでにいろいろな視点で議論いただいているのですが、最初に核融合というアイデアができたときの熱気も含めて、もう少し詳しくお話いただき

たいと思います。

森：それは、プラズマ研究所の存在が大きかったですね。プラズマ研究所が、いろいろな共同研究を通じて、日本の核融合研究の礎を作った。レーザーだってそうですね。最初はプラズマ研究所で旗を揚げた。

山本：プラズマ研究所は共同利用研究所ですから、共同利用するためにいろんな方が集まるわけでしょう。客員教授などの制度を作って、いろんな人が出たり入ったりする。研究所内の人もわりあい、外と交流が多かったわけですね。ですから、いわゆるコミュニティづくりの中心になったということだったと思うんですが、現在の核融合科学研究所はどうなっているの？

吉田：全国共同利用研究所として位置づけられています。ただ、LHD という大きな実験装置に集中していくフェイズになっていますから、昔のプラズマ研究所のように、いくつもプロジェクトがあって多様性をもってというより、むしろ集中型ビッグプロジェクトの推進に重心があります。まあ、これは学問の進歩を体現しているのだと思います。それから、原子力研究開発機構の方も、やはり JT-60 が、国内の重点化装置ということになっていますので、これにも大学の人たちがたくさん参加して、共同利用を進めています。昨今は、核融合の分野に限らず、全部の分野で共同利用を進めて、効率よくやっていきなさいということになっています。学術研究の分野では、共同利用研究所というものを作ったのは、プラズマ研究所が草分けなんでしょうか？

森：原子核研究所が先。その後東京大学の物性研究所ですね。それからプラズマ研。

川上：ちょっと違いますけれども、基研(京都大学基礎物理学研究所)があります。

森：基研が一番先ですね。共同研究はあまり表には出さなかったけれど。

川上：「湯川記念館」と言っていたぐらいですから。

森：核融合はうまく舵を切ったなと思っているんです。A計画・B計画が出て、A計画が勝ったからプラズマ研を作った。そのとき、おそらくお役人の頭の中には、プラズマ研究所ができて、2〜3年経ってからでいいから、あれだけ原子力委員会が頑張ったんだから、メンツを立てる意味で、遅れて B 計画的な予算をつけようというのが普通の常識ではなかったかと思うんですよ。予算の取り方の常識からはそうですよ。それを核融合の人は、よくお互いに議論して、プラズマ研をしばらく育てよう、大きくしようではないか。みんな真面目に考えていたんですよ、原研も含めてね。あの時、役人的発想で、あのとき負けたんだから今度は俺の番だというようなことをすると変なことになってしまう。やはり、伏見先生、山本先生、早川先生がおられて、研究体制がしっかりしていたのだと思いますね、あの頃は。

○ コミュニケーション

藤田：プラズマ研究所ができるころは、核融合懇談会がコミュニティの核だったですね。プラズマ研究所は、それに支えられていたといってもいいくらいだったと思います。ところが今は、学会がそうなのか、そうでない別のものがあるのか、そんなにはっきりしたコミュニティのアイデンティティがないように感じますね。ですから、どうも今の核融合科学研究所とコミュニティとの間の意思の疎通というか、情報の流通というのが、昔のようにはいってないという気がするのです。

川上：懇談会ができてから、しばらくして、プラズマ研究所ができたんですが、プラズマ研究所の専門委員会も、運営委員会も、その委員は全部懇談会の名簿によって選挙で決めていたのですよ。だから、なんとなく当たり前になっていたんですね。懇談会をベースにして何かをやるというのが、

藤田：共同利用の座談会のときにも、そのことが話題になりまして、本当に今のコミュニティというのはどうなってるんだろうと。

森：それは普通の学会になったんですよ。ほかの学会でも、顔を知らない人が沢山いるでしょ。

山本：湯川先生が最初に、懇談会を作ったときには、研究者の総意をまとめるということだった。

川上：まとめるために作ったのではないんですがね。

山本：もちろん情報の交流だけど、懇談会によって総意を表明するという。そういうことも含んでいたわけでしょう。

川上：なんとなくみんながそういうことにしちゃったんですね。

山本：しちゃったのかもしれない。あんまりやると、直訴するような、訴えるために、そうなっちゃおかしいんで。議論することは大いによろしいと思う。

川上：懇談会には何の権力もないのですが、任意団体とよく言われました。

山本：だけど総意というのは、みんなが集まって発言すれば、それだけ力がありますから。

川上：だけど非常に気を配っていたのは、すべての情報を全部知らせようということでした。学術会議の情報というのは、割にすーっと伝わるんですね。ところが、原子力委員会の専門部会の情報は伝わらないんですよ。それをどうしても伝えたくて、傍聴させてくれと言ったんです。もちろん、いらっしゃる委員の方は、全部知ってる方ばかりで、それは伝えた方が良いでしょうという。しかし、お役所の方からしますと、議事録というのを作って、次の委員会にかけて、承認されて初めて外に出すわけですね。そうすると、だいたい1カ月か2カ月かかるわけです。だから、それをどういうふうにして出そうかというので、結局は、菊池先生の名前で出すことにしたんですよ。菊池先生が書かれたことにして、『核融合研究』誌に載つけたんです。『核融合研究』を編集するのは、ものすごく楽でした。何でもかんでもほうり込めばよかったですから。後に、吉村久光さんが常任委員会の委員長になった頃は、「常任委員会速報」

という形で出したんですね。皆さんも興味があっただろうし、いろんなことが変化するので、そういう情報に、みんな興味があったらしくて、非常に良かったのではないかと思います。そういうことで、懇談会に属していれば、いろんな情報が入ってくる、というのがあった、という気がしますね。

難波：吉村久光先生が常任委員長になられて、「常任委員会速報」の発刊を準備されたのは、かなり後の1974年度のことで、実際に発行されたのは次年度のことだったですね。

吉田：『核融合研究』誌には、学術的にも重要な論文が、たくさん出ています。そのいくつかは、いまだに引用されています。この分野を立ち上げようというときに、研究の成果を発表する自前のメディアが用意されていたということは、コミュニティづくりをされた先生がたの慧眼であったと思います。今、国の学術振興で、メディア戦略が重要な課題になっています。

川上：これは最初、みんな勝手に投稿して、それを編集して、リジェクトしなかった。そうですね。

森：『原子核研究』と『物性研究』というのがあって、川上さんが言われたのと同じプリンシプルで、勝手に投稿するという。そういうものがあるもんだと思ってたんです。無理に何とかしなくてはいかんとは思ってなかった。むしろ当たり前だと思っていた。リジェクトしない。

川上：リジェクトしない。あまりひどいのは、注意しますけどね。

森：みんながそういうものが必要だと思っていた。それは確かに、A計画・B計画の話とかね、学術会議でどういう議論があったとか、そういうのも勿論大事だったし、向こうから送ってくる論文のリストとか、結構大事だったんですね。アメリカから送ってくるAECレポートなども、大事だったですね。プラズマ研でどういうことが行われているか、そういうニュースなんかも結構大事だったんですね。いきなり‘Physics of Fluids’に出すのも無理だから『核融合研究』に出すとかもあったでしょう。向こうのものを翻訳するとかもあった。そういう、まさに黎明期だったんですね。

川上：当時はロシア語の論文が、よくありました。それを翻訳して載付けたりしましたね。吉村徹さんという人が適当に選んで。

吉田：現在、学会では、藤田先生にご協力いただいて、『核融合研究』の歴史を引き継いでいるジャーナルを英文の電子ジャーナルにして、我が国の研究者の研究成果を発信する媒体にしようと、努力しています。

川上：学会誌の方は？

藤田：学会誌は、英文の論文も受け付けますが、基本的には日本語ですね。英文のジャーナルを出そうという話が前からあって、せっかく作るんだったら、電子ジャーナルにしておこうということになりました。それで、私もエディトリアルボードのチェアパーソンを務めています。

吉田：今、そういう形で時代のテクノロジーも入れて、コミュニティの活性化のための努力をしているところです。

○ この分野の求心力

吉田：コミュニティの形成ということでお話を伺っていますが、最初の頃は喧嘩もあったという話でした。

山本：1959年の春から1960年2月頃まで、B計画の立案作業をした時は、泊まり込みで作業をしたんですよ。森さんと私が世話人になって、5回くらい開きました。あのとき初めて専門外のいろんな人達が、横並びして話せるようになった。それで親しくなって、縁もゆかりもないと思われる人が、各大学の専門の違う人が集まったというのは、核融合の最初のコミュニティづくりとしては、役に立ったと思います。それがプラズマ研になって、桁違いに拡大されましたね。それから次第に、仕事も複雑化し分化しました。みんな孤立しちゃうというか、お互いに腕を組みあうような必要がなくなったのかもしれない。

吉田：いえ、これから一層コミュニケーション・融合が必要で、同時にコミュニティの規模も大きくなってはなりません。たとえばITERを遂行するためには、おおざっぱに言って、研究者を現在の倍に増やす必要があるだろう、そうしないと国際的な競争力が保てないと分析をしています。黎明期においては、自発的にコミュニティは拡大したのかもしません。けれども、現在は、少し事情が違う部分があるのかもしません。

森：最初は規模が小さかったから、人を作って、ポジションがなくなるなんて考えられなかった。ところが、それから10年か20年ぐらいうると、人を増やせと言われるけれども、どこにどうやって、ポジションがあるのかわからない。全く違うフェイズに入った。それが続くんじゃないでしょうか。核融合科学研究所でも、そんなに人が増えるわけではないでしょう。原子力機構だってそんなに増やしてないでしょう？

吉田：新しくポジションをたくさん作るわけにはいかないので、核融合研究に100%の-effortで働くというのではなくて、何らかの意味で核融合に関わる人を増やして、このコミュニティサイズを大きくすることを考える必要があるでしょう。

森：それはいいんだけど、学生たちは見えますからね。やっぱり、卒業したらどこに行けるんだろうということを見えるようにしてあげないと、人が来ないんじゃないですかね。その意味では非常に難しいですね。昔よりはね。最初の頃は、なんと言うのかなあ、一人ひとりについて面倒を見てあげればよかった。今は、数で面倒を見るよりしょうがないでしょう。何十人何百人と。僕が原研にいた時でも、最初はほとんど来た人をすべて取っていたけど、だんだん選ぶようになってきて、だからいい人が集まった。原研の立場からいえば、それでよかった。けれども、養成される方の先生の立場になってみると、もっと取ってくれなければ困るということになる。ポジションを考えなくてはなら

ないから、辛いよね。止まるわけにはいかない。何かプロジェクトがないといけないということになりますから。今だったら、BA（ITER計画と関連して実施することになった Broader Approach 計画）とかITERに出す人のポジションを確保するとか、そうすればいい人が来ると思います。ITERを使っている仕事ができるというと、いい人が増えるのではないですかね。ITER要員としてどれだけ増やしますよとか、原子力機構の方でも、それを宣伝してくれないと、大学にまで冷たい風を吹かせてしまうことになるでしょう。

藤田：黎明期の頃、新しいプラズマというもの、あるいは核融合というものに求心力があった。ところが今は、核融合、ITERに、それだけの求心力があるのか、気になるんです。もしも、先生がたが本気でもってITERをやろうとするならば、こんなに面白いんだ、大いにやろうという気持ちをもっていけば、学生さんもそれに惹かれてくる。その辺がどうも、黎明期の頃、皆さんが常滑に集まって（注：上の山本発言にある「B計画の立案作業会」のこと、愛知県常滑市に集まって会合をもった。）、大いにおやりになったような雰囲気というのが、なんとなく乏しいではないかという気がして。どうなのでしょうね。学生さんを見ていると、どうですか。

吉田：第一の問題は、やはり時間スケールだと思います。学生からもそういう声が大きいですね。昨今ですと、たとえばバイオのような分野だと、学部生がやった実験でも‘Nature’誌に論文が出るかもしれない。核融合も、最初はそのような雰囲気があったでしょう。ところが、ITERというと、建設に10年、物理実験10年、工学実験10年で、30年という。基本設計はほぼ決まっています、それを実現していくプロセスですから、チャレンジというイメージが湧きにくい。時間スケールの長さ、プロジェクトの大きさという面ばかりが強調されています。ただ、長い時間はいけないばかりではなくて、数学なんかですと、ポアンカレ予想などという何十年というスケールでやるわけで、そういった問題の方が、よっぽど高級なんだということで、チャレンジしていくわけですよ。私たちの分野では、そういうアカデミックな意味での関心を刺激するような努力が、やはり足りなかった。今後、そういうことをやっていかないといけないと感じています。教育の現場では確かに、若い人が、自分で何ができるということをなかなかイメージしにくくなっていると感じます。

森：大学に実験装置が足りなくなったということですか、魅力のある実験装置が。

吉田：そういう面はもちろんありますね。しかし、たとえば、高エネルギーでも、実験のためにはCERNに行くとか、KEKに行くとかで、大学の中に大きな加速器があるわけではない。やはり核融合のような大型研究は、50年もの、100年もの大テーマであって、難しいものにチャレンジしていく、夢にチャレンジするという、その感覚を学生に伝える必要があると思います。

森:確かに非線形なんか、難しいことに夢があるでしょう。いろいろな競争のなかで、いかに核融合に引きつけるかということですね。黎明期はむしろ逆なんですね。志をもった人は沢山いたから、苦労しなかった。今は、他の分野との競争。文科省に、仕事をしているぞと認めて貰うこととか、大企業になった苦労ですね。

山本:最近の外国の情勢というのは、今の問題に関して、何か日本と違うかしら。

吉田:プラズマ・核融合の分野の状況というのは、基本的には各国似通っています。ただ、かなり違うフェイズにあるのは、ITER に新しく入って来ている国、具体的には、インド、中国、韓国。ここは、まさに黎明期・揺籃期でして、国を挙げて人を集めるということで、非常にホットな状況になっているようですね。その意味では、核融合先進国であるアメリカ、ヨーロッパ、日本、ロシアはもっと厳しいかも知れません。

山本:ITER が、建設に 10 年かかるとか、またその後 20 年間運転して、その先はどうなるという。凹凸が激しいです。何年か経つとまたやりますという。日本だけではなくに世界中、みんなそんな波に洗われるような。

吉田:ですから、核融合だけが孤立系として、閉じたコミュニティとしてやっていくということは、人材という意味でも、不可能だろうと思います。やはり人が往き来する仕組みが必要です。技術系は特にそうだと思います。核融合の大きい装置を作る時と作ってない時と凹凸がありますので、エンジニアの人が、私は核融合エンジニアですというふうにはまだ言えない。超伝導でも、ある時期は加速器の超伝導コイルを作っていたけれども、ある時期には核融合の装置を作る、様々な分野と交流していく。そのようなグローバルな戦略が必要だろうと思います。

○ 選択・集中と多様性のジレンマ

吉田:現在われわれのコミュニティが直面している問題の一つとして、研究が大型プロジェクト化するにしたがって、基礎学術から遠くなり、近隣の研究分野と隙間が空いてくるといった悩みがあります。研究者は、それぞれの多様なアイデアでチャレンジしたい。しかし、核融合の場合、かなり大きな装置でないと本格的な研究ができない。そうすると、大きな装置をたくさん作ることにはできないので、選択・集中していくというジレンマが生じます。基礎研究では、みんな、やりたいことをチャレンジしたいと言うので、ちょうど A 計画と B 計画、それに相当するような議論が、実はいまだに続いているわけです。

山本:プラズマ研究所は、核融合を遠くに見ながら、プラズマ物理をしっかりとやるんだという考えだったが、菊池先生は、プラズマ物理、プラズマ物理と言って、面白がって喜んでいてはだめ。あまり勉強なんて言わないで、どんどんやるというような話なんだという意見だった。僕自身が核融合の歴史の中で、いちばん感激したのは、大河千弘氏のオクタポール。あれが、古典拡散を世界で初めて実現し

たプラズマですからね。ミニマム B を使ってやったわけですよ。炉にはならないけれども、学問としては素晴らしいステップを踏んだと思うんですよ。原研でも森さんがやっています。ヘキサポール。トカマクをやる前に、大河さんと同じことを確かめようということでした。原研の核融合を始める 1 年前、嵯峨根さんが大騒ぎして、仲間だからというので理研から予算を取ってこようという話が出たり、やりくりしたんですね。そういう小さくても大事な仕事があるんですよ、大きな仕事の周りには。その組み合わせが僕は必要だと思うんです。大きなものをやるときに、小さく砕いて、きちんとした仕事ができるような、そういう発想がないと仕事はできない。大きな総合実験ばかりやっていたのではだめ、それは、総合実験ではなくて、分解して、まとめられるような人は、成果も上がるし、早川流ですね。積み上げられれば、一番いい道ですね。もうしかし、そういう時代は過ぎちゃった。

伏見:もう過ぎた？

山本:少しは、残っている。全然ないというわけではない。選ばれた少しの実験は、まだ大事だと思いますよね。もう 50 年間やったということは、それだけつぎ込んでいるので、過去にどういう人がどれだけやったということは、もうちょっと皆様勉強して整理してみれば、無駄なことをやっている例があるのではないかな。いいテキストとか、いい文献資料とかあると、今後のために役に立つと思うんですけども。世界でトカマクを 70 台並べてやったわけでしょう。ちびちびちびちび、いろんな知識を集めて、大型にもっていったわけです。ほとんど埋もれているような機械が、少しずつ役に立つような、そのような感じがしました。

伏見:なるほど。

○ ITER をめぐって

吉田:今、ITER へ研究者をいかに集めて成功へ導くかが課題になっています。長期的な人材育成ということも問題です。日本では、実験装置の予算がついても、研究者を確保するための予算がない、人に対する投資、コミュニティを拡げて行くための予算は非常に窮屈です。

森:吉田さん、なんだか今の話、非常に違和感があるんですが。ITER を誘致しようとしたとき、これが日本に来たら、ITER だけが栄える、日本の他の分野つぶれるぞと言われた。若干そういうことがあるかなと実は思いながら、ITER を日本にもってこいと言ったんですが。ところが ITER が向こうに行ったら、もっと金が余るくらいこっちに来ていいはずではないですか。おかしいですよ。逆ですよ。ITER が来なかった。金も来ないというのはおかしいではないですか。作戦を誤ってますよ、核融合の幹部の人は。ITER を作った時の予算の、半分か 3 割くらいもらって良い筈ですよ、核融合のコミュニティは。それで人を雇って新しい研究をして良い筈。BA もありますし、材料の問題、核融合の炉工学の問題もあるので、むしろどんどん金が出て良い筈ですよ。そう言って頑張ってください

よ。

藤田：予算なり、国の政策なり、どれだけわれわれが行政や政治、あるいは社会を説得できるか、そのもっていき方が難しいですね。黎明期にも、やはりそれなりのご苦労があったと思うのですが、たとえば霜降り論、煉獄の時代、伏見先生もご苦労なさいました。以前、大河さんに会ったときに、日本は、どうも政治家の使い方が下手だと言っておられました。確かに、大河さんは、向こうでいろいろとDOEの人やら口説き回ったり、かなりやってらっしゃいますよね。そういったことは、日本の風土には、何か馴染まないのですかね。

森：そんなことないでしょう。JT-60のときなんか、ずいぶんサポートしてくれたからね。話をもっていく時のロジックの作り方を間違えているんですよ、核融合のコミュニティが。文科省もそういう形で動かさなくては。多分、黎明期にはみんな貧乏だったですからね。それこそ言うことも激しいわけです。霜降りの時もそうですが。今はそれなりのお金 coming いるでしょ。核融合の分野は、甘くなっているんじゃないですか？

吉田：やや保守的な面もあるでしょう。ある程度の大きさをもってくると、それをサステインするための論理も一方では必要です。

森：もう少しまともに言えば、ITERにそれだけのお金を出して協力するわけでしょ。サイトは来なかったけど、これだけのお金を出してどう使って、良い成果をこちらにもってこないといけな。さっきおっしゃったように、いい人を養っておかないと、ハングリーな国からいい人が行って、成果をもっていってしまい、せっかく投資したのが日本にとって役に立たないことになりかねない。人を養成しておかないと、日本には役に立たないということになりますよね。そういう意味でも、日本の研究がしっかりしていないと。ITERが向こうに行っただけだから、いい人がいなかったら、本当に使われてしまいますよ。

【国際的な競争力】

吉田：核融合は、いつも国際的な競争あるいは戦略という視点で捉える必要がありますね。黎明期ではどういうふうな状況だったのでしょうか。

森：それは、山本先生がお話しなさるべきなのですが、BerchtesgadenでIAEAのFusion Conferenceのときに、1976年でしたか、日本も、JT-60を作り始め、JFT-2aもできたし、いろいろ国際協力をしなくてはならないということで、DOEの核融合の担当に国際協力をしようと話をしたわけです。そしたら、「何を聞きたいのだ、何を助けられたいのだ、何でもやってあげるからね、言って来なさい。」といわれた。国際協力になっていないんですよ。むかついたし、がっかりしました。今はそうではないでしょう。日本に行かないとできない仕事もあるでしょう。対等になっていると、われわれは思っているわけ。日本で仕事した方がいい、やりやすいと思っている人も、出てきていると思う

のですがね。少しずつは。昔は悔しい思いをしたということとは、心得てほしいと思うけど、これからどうやっていくか、付き合っていくか、あるいは、お互いに利用していくかということを、むしろ現役の人は考えなくてはいけないでしょうね。

○ 国の基幹技術として

山本：全然違うことをさっきから考えているんだけど、たとえばミリ波、というのがあって。メガワット級大電力加熱の。JT-60でも使っていた。ひところは、ミリ波の発振というのは、お話にならなかった。使いようがないと言うので。1ワットも出なかったんですから、出してもしょうがなかったです。それが核融合であれだけにしたら、それを使うような知恵がいろいろ出てきた。超伝導やNBIもそうでしょう。核融合を組み立てている諸要素は、いずれみんなだんだん生きて、広がって行くに違いないですね。そういうのが、核融合を取り巻いて、栄えるようにしないといけないと思います。基礎研究だけで30年かかりますと言うのではなくて、金を頂戴と言うんでなく、儲けていけばいいわけです。日本なんて、そういうのをそつなくやれると思うんだけど、そういうところにもっと気合いを入れたらどうですかね。

吉田：最近の状況をお話ししますと、たとえばITERは7極でいろいろな調達を分配していますが、他が分担したもので日本では作れないものがあるって、日本が受注することになる。基幹技術に関して日本はトップレベルで、日本の存在感は、特に技術の面で非常に大きいわけです。そういった意味で、核融合研究を推進していくことが、国を支える基幹技術に対してどれだけインパクトをもっているのか、整理しアピールする必要があると思います。核融合エネルギーフォーラムというのがあって、そこで、研究者のコミュニティで、自らロードマップを描く作業が行われています。そのロードマップのなかで、具体的に、核融合に関わる技術開発が、国家の基幹技術として、どんな意味をもっているかが分析されると思います。日本は全部やりますという時代ではなくて、選択と集中といわれています。トップランナーの後をいって、何でも手を出してついていこうというのではなくて、トップにきているものを国の基幹技術としてやっていかなくちゃならない。その議論の材料になるものは、コミュニティから発信する必要があります。

山本：そういうことがもっと活発になって、核融合の周辺のものをもっと生き生きと話題になっているようならいいんだけど。断片的に何かうまく行っているというのでは、なかなか今の不況を救えない、何かそんな感じがするんですけれども。

森：非常に良い要素技術があるわけですからね。

山本：それだけやってきてんだから。その周りのものは、応用されなくてはおかしいと思うんですがね。世間でいろんな方と環境、エネルギー、資源問題で話しても、核融合

という話が全然出てこない。これだけここまで ITER ができたのに、日本の念願だったわけですよ、50 年前に、核融合こそは世界に先鞭をつけて、追従はしないと、伏見先生先頭に立ってやったわけでしょう。あのような空気が日本でなくなっちゃった。誰もサポートしてないということではなくて、知ってる人は知ってるけれども、世間の話題にならない。今の問題というのは、そんな問題よりも、もっと深刻かもしれないけれども、宣伝するとか、皆さんの話題になるような話と違うかもしれないけれども、そういうものが全部響いていると思いますよ。政治家は熱心になってくれない。経済界は、昔は土光敏夫さんとか一生懸命やってくれた。財界のトップの人が一生懸命やってくれた。ついこの間まで、トヨタ自動車の豊田章一郎氏とか、ああいう人たちが ITER のいろんな援助をやってね、非常に ITER を盛り上げるところまでできたわけです。日本に持って来るところまで頑張ったのです。行っちゃった途端にトーンダウンしてしまった。

【未来へのメッセージ】

吉田：最後に、今後の 50 年に向けて、メッセージをいただければと思います。

森：核融合の PR という意味では、黎明期には、先のことからというので夢があった。夢としてサポートしやすかったわけ。外の人にとっても可愛かった。しかし、いよいよ成人して青年期を迎えると、どうしても競争が出て難しくなった。そこにぶつかっちゃうと核融合は不利なんです。ITER もまだ動いてないから。これからは、あまり俗受けしなくて、けっこう難しいと思います。そうだとすると、山本先生がおっしゃったように、技術的な発展をするための推進力になるということ言えば良いんじゃないですかね。たとえば、ダイバータの高温熱流束、あれがうまくいくようになると、応用がある筈だと思います。熱というのは大きな工学上の問題ですからね。だから、そういうものを、もう少し掌握するようにすればいいのではないかと思います。たとえば、講習会をやっていますね、学会で。そういうものを意欲的に取り上げたらどうなんでしょう。熱流束技術の先端、マイクロウェーブの先端技術とか、これらを採り上げれば、これはボディブロー的に効くんではないでしょうか。いろんな意味で、核融合は大事な技術を接ぎ木できる、しなくていけない良い場だと思いますね。核融合以外の人が見ても、今の編集委員会とか、学会で考えられると良いんじゃないですかね。核融合は難しいんですからね。

山本：先のことは良くわからないんだけど、今、森さんが、いろいろ言われた、その通りです。プラズマ屋さんは、もうちょっと付き合いを広くして、いろんな隣接の人とうまく付き合っておけば、もっと広がると思うんだけどね。昔はプラズマ屋というのがいなかった。プラズマの応用で言えば、固体とのインタラクションね。大学でできる問題としてもね。核融合の本質的な問題なんですね。また現実

的には、BA です。あれに全力投球をすべきだと思うんですよ。特に JT-60SA です。ヨーロッパと半々でやるんでしょうけれども、あちらはずるいからね、先手でやらなくちゃ駄目ですよ。本体の ITER の運転もそうですけれども、あれを早くやれと、大いにのろしをあげたらどうでしょう。運動やらないと、口先だけで言っても駄目ですよ。決まっています、後は急ぐだけなのだから。Doublet-III で、狐崎晶雄さんがやったような仕事は皆さん良く知っていると思うけれども、Doublet-III というのは、大型トカマクのうちで、いちばん働いた。その仕事のかなりの部分は、狐崎くん達が行って、共同研究でやったわけで、共同利用として、非常に良い例を開いたと思います。今度 ITER が動くようになったときに、日本から行った連中が先頭に立ってリーダーになるぐらいの勢いが必要ね。役職で行って、誰が所長になって、誰が部長で、というのではなしに、実際に仕事をつかむだけの。結局 ITER は、我々の 50 年間のいちばん大きな結論ですから、それに全力集中すべきですよ。ITER はしばらく先としても、BA は、どんどんやってほしいですね。学界全体として。

森：大学連合も何か作るんでしょう？ 六ヶ所に。

吉田：炉工学のセンターとシミュレーションです。JT-60SA は那珂研で、これについても、共同利用をやっていくことになっています。

山本：それを進めるにあたっても、作戦をもうちょっと練って、働きかけたらどうですか？

森：BA も、もう少し宣伝しなくてはいけない。

吉田：では、伏見先生、お願いします。

伏見：未来へのメッセージ？ 僕のジェネレーションは少し怠け過ぎていたかなという感じがしています。もう少し働いて、若い人が働けるような場所をもっと作っておけば良かったかな、という後悔の念をもっているのですが。

吉田：プラズマ研究所は、いろんな人が活躍されましたし、国際的にも大きな存在感をもちました。ご存知かも知れませんが、今テキサスの理論研究所所長のバンダムさんをはじめ、プラズマ研究所経験者の多くが現在プラズマ・核融合界でリーダーとして活躍しておられる。そういった意味でも、国際的な COE として果たした役割、ああいうアカデミックな研究所ができた意味は非常に大きいと思います。今後も、海外の人にとっても、また、日本の違う分野の人にとっても、核融合が、アカデミックなキャリアパスになる。そういう形になればいいと思います。

森：中国や韓国とも、核融合研はうまく付き合っていますよね。

伏見：僕は、プラズマ研究所を作るときに、大失策をした。それは、大河千弘という男を所長に据えるつもりでいたんです。説得しそこなった。痛恨の至りですな。

森：大河さんは帰ってこないですよ。

山本：伏見先生がいろいろと、口説いたけれども。私も話したことがありました。研究者の空気が体質的に合わないようです。

吉田：川上先生，お願いします．

川上：僕は結局今までやったことというのは，本当に揺籃期のときに，その時の情勢にあったようにやってきた．そういう感じがして．特にこうしなくていけない，と言うのではなくて，ちょうどその空気にあったという感じがして．先程ちょっと話しましたが，日本の原子力の開発というのは，最初は難しかった．その突破口を伏見先生が茅・伏見提案という形で開かれた．その次には，プラズマ研究所の所長という形で，核融合の方に進まれたわけです．私も，文献センターをお世話したときに，非常にたくさんの人を知ったのですが，それは大学関係だけではなくて，それまでは，理学部の物理の人間しか知らなかったのですが，工学部の関係の方とか，いろんなおもしろいと言いますか，それまでとは違った考え方もできるようになってきたと思います．私はその意味で，核融合の研究者には，非常にお世話になった．それで，後輩の方ということです

けれども，その時その時で，どうやったらいいかという，将来のことを何かちょっとでも考えていくように，みんながやっていけば，ずいぶん違うんじゃないかという気がします．これは一般的な話ですけども，今の日本は，いたいこれからどうなるんだろうと，皆さん心配しているんだろうと思うのですが，やはり将来のことを，みんなちらっとでも思っていたいただければ，必ず知恵が出てくるんじゃないかという気がします．

吉田：色々貴重なお話やコメントを頂戴しました．本日はどうもありがとうございました．

（あとがき）

この座談会にご出席いただいた伏見康治先生は，2008年5月8日に満98歳で逝去されました．先生の多方面にわたるご偉業を偲び，心からご冥福をお祈りいたします．



「核融合の歴史を遺す座談会」

－ 成長期 －

この記事は、プラズマ・核融合学会が核融合研究の50周年を記念して企画した一連の座談会のうち「成長期」に関する座談会の記録である。座談会を始めるにあたり、「核融合の歴史を遺す座談会」小委員会委員長の藤田から、この座談会を開くに至った趣旨、経緯などについて説明があった。座談会は、長時間に亘って行われ、その記録は膨大となった。紙面の都合上、座談会担当委員の責任において割愛した箇所も多くある。また座談会出席者の間では相互に理解できた事項に関しても、広く会員・読者の理解を助ける目的で若干の加筆等を行うなどの編集を行ったことをお断りしておく。

日 時：平成19(2007)年12月22日(水) 13:00～17:00

場 所：東京大学山上会館

出席者(敬称略)：飯吉厚夫、内田岱二郎、河村和孝、
宅間 宏、宮本健郎、山中龍彦、吉川允二、藤田順治、
難波忠清

司 会：小川雄一

小川：今日は年末のお忙しい時期にも拘わらず、お集まりいただきありがとうございます。私は本日の司会を務めます小川です。よろしくお願いいたします。それでは、我が国の核融合研究50年を振り返って、その中の「成長期」についての座談会を始めたいと思います。

【座談会でのテーマ】

小川：まず、本日の議題に関して、簡単に説明させていただきます。今回は成長期の時代を取り上げました。ちなみに核融合50周年記念事業の座談会企画では、黎明期・揺籃期、成長期、青年期、壮年期と区分しております。なお本座談会では、各研究機関や組織などが系統的に編纂するアーカイブズではなくて、その当時の雰囲気や熱く語って頂き、我が国の核融合全体の流れが分かるものであればよいと思っております。したがって、詳しい歴史的な客観的な事実を正確にフォローアップするというのではなくて、その当時のことを思い出しながら、いろいろ、その時代背景、将来に向けてのメッセージ等を語っていただければと思います。

ここで成長期とは、1970年ごろから、1990年ごろまでの、約20年を想定しております。1970年よりも前というのは、核融合研究の黎明期・揺籃期であり、別の座談会が企画されております。一方、1990年以降は、まさに現在進行形のものが多いため、ここでは割愛しました。

本日の座談会は、先にも述べましたように、歴史を順々に振り返って検証するというのが目的ではありませんので、ある意味でのエポックメイキング的な課題を中心に議論させていただければと思います。なお、ここで取り上げてみたいと考えた課題を三つに絞ってみました。最初のテーマ

が、「高温プラズマの閉じ込め研究へ向けて」であります。1970年代初頭は、まさにトカマク等が伸びてきた時代で、高温プラズマの閉じ込めが研究の主題となってきた時代かと思っておりますので、この時代のエキサイティングな話題についてお聞かせいただければと思います。続きまして、二番目に、「学官の連携による研究推進」を挙げさせていただきました。ここでは科研費のエネルギー特別研究や日米科学技術協力などがこの時代に始まったこと。それから文部省での委員会として学術審議会における議論、科学技術庁関係では核融合会議での議論などについてお聞かせいただきたいと思います。最後の三番目は、「将来へのメッセージ」でありますので、皆様方の忌憚のないご意見をお聞かせいただければと思います。



座談会全景

【プラズマ閉じ込め研究へ】

小川：それでは、本題に入らせていただきます。最初のテーマであります高温プラズマの閉じ込め研究では、やはり大河千弘先生、吉川庄一先生が1967年に来日され、当時のプラズマ研究所で、日本の核融合研究について意見を述べられたのが一つのエポックメイキングだと思います。ただしこの話題に入るためには、当時の伏見康治所長のお考えや名古屋大学プラズマ研究所が置かれていた状況から紐解く必要があるかと思っております。そこで、プラズマ研究所の生立ちについて振り返っておきませんと、話の流れがわかりにくいと思っておりますので、内田先生から、その経緯につい

てお話しいただきたいと思います。

○ プラズマ研究所設立の経緯

内田：話の中心は当時、学者・研究者の依り所であった日本学術会議であったし、核融合について既に固有の委員会があったとすれば、そこであったでしょう。有名な A 計画 B 計画論争もそこで行われ、A 計画に合意した後、望まれる研究体制としては、当時既に発足していた東大核研、物性研、宇宙線研に共通する共同利用研究所体制が話題になっていったと記憶します。



内田岱二郎氏

具体的にそれをどの大学に置くかについても、当時既に研究先行していた阪大、京大、名大、東大、日大等の中から、名大山本賢三先生が前年設置された一講座を提供しての強い勧誘に依って名大に附置され、昭和 36 年に発足しました。

所長には阪大で理学部長をしておられた伏見先生が就任され、理論 2、基礎 2、高温発生 3 部門の 7 部門で構成され、運営方式としては前述の各共同利用研究所の実態を参考にして形式的には教授会を置くとするも、実質的には所員 7 名、所外員 8 名の計 15 名による運営委員会が決定してゆくものとし、初代運営委員長には当時東大教授で、名古屋の土地にも縁がある嵯峨根遼吉先生だったと思います。（注：プラズマ研究所運営委員会には、運営委員長はおかれていなかった。「プラズマ研運営委員会規程」によれば、同所長が議長を務めることとされている。ただし、第 1 回運営委員会（1961 年 8 月 12 日）については、学術会議核融合特別委員会プラズマ研究所小委員会の委員長であった嵯峨根遼吉が、運営委員候補者を召集した）。

そしてその運営委員会の下で実質的な活動機関として、理論、基礎実験、高温発生 3 専門委員会が発足しました。たしか基礎実験専門委員長には山本賢三先生、高温発生同委員長には吹田徳雄先生がなられたと思います。そして直ちに相次いで教授に就任される先生方を中心にグループが結成され、理論以外は、基礎の 2 部門を軸とした TP（Test Plasma）グループ、高温発生 3 部門のうち 1.5 部門分をまとめた QP（Quiescent Plasma）グループが発足しました。TP のヘッドに高山一男先生、QP には長尾重夫先生が東北大学教授併任のまま就任されました。この中で、QP 計画への要望事項には、前述の学術会議核融合特別委員会からの、完全電離定常プラズマをめざせとの意見が大きく影響していたように思います。

問題は高温発生の残り 1.5 部門に何をやらせるかで、運営委員会は吹田専門委員長にその選定作業を依頼し、吹田先生は広く世界に公募し、外国からの応募を含めた確か 6 件について順次、説明・討論の場を設けて審議の結果、2 件を採用し、一つは当時日大理工物理から提案者：濱田繁雄、内田の名で出されていた俗称 BSG 計画（後日 Multistage Adiabatic Compression and Equi-Temperature Irreversible Expansion: MACETIE 計画に改名。IAEA の雑誌 JFE に掲載）

と、京大より共同計画の前提で出されていたヘリオトロン計画に予算を与え、人員構成は 1.5 部門 6 名全員を BSG 計画用に用意したのです。つまり、今日の用語でいえば、加熱には BSG による多段圧縮、閉じ込めにヘリオトロンを配したのです。1963 年秋のことでした。

しかしながら、世界は大型計画を実施又は立ち上げ中で、英国の ZETA 装置でデータを出しつつあり、米国のシャウッド計画ではステラレータ装置は建設中であって、ソ連ではトカマク装置が 3 号機まで運転しつつありました。

飯吉：今の内田先生のお話に関連した話をしたいと思います。昭和 40 年、伏見先生がカラム研究所にいらしたとき、1965 年ですよ。私もちょうどプリンストンにいたんです。確か伏見先生は、帰りにプリンストンにもお寄りになったんです。それで、講演をされたんです。日本の核融合研究について。その時、私が非常に衝撃というか、びっくりしたのは、第一声が、「日本の核融合の研究は、ストーンエイジである」と、言われたんですね。私はそういう認識はなかった。もうちょっと良いのではないかと。だから、伏見先生はかなり日本の核融合をなんとかしなくてはいけないという認識を、回られてずっとお持ちになったのではないですか、ということですね。それからもう一つは、先ほど、山本賢三先生が 1 部門を出してプラズマ研究所ができたという。これは大事なところで、実は、私が核融合科学研究所を作るときに名古屋大学へお返ししました。そのときまで、そんな歴史的な話があることを知らなかったのです。プラズマ研究所から核融合科学研究所に移るときにその話が出たんです。それで初めて知ったんです。だから、そういう大事な事実であればと考え、お返ししました。

共同研究が、その頃はまだ、あまり大学人には理解されていなかった、そういうことまでしないと、なかなか認められないというか、認知されなかった時代でした。山本先生がやはり大きかったのではないですかね。

宮本：『プラズマ研究所 10 年の歩み』に、山本先生が一文書いていらっしゃる。それを拝見して、そこに直接的には書いてないけれども、プラズマ研設立に際して 1 講座提供したことが推察でき、世の中には希有な先生もおられるもんだなと感銘を受けました。

○ 伏見所長の危機意識

小川：それで、ぜひ伺いたいのは、伏見先生がその時に持たれたという危機意識、またプリンストンに寄られて衝撃を受けられたとのこと、その辺の話をもっとお聞かせください。

内田：1965 年に英国カラム研究所で行われた IAEA 主催第 2 回プラズマ物理・核融合国際会議に出席された伏見所長は、プラズマ研で進行中の諸実験計画に改訂が必要と思われるようです。そのため、第 3 回の同会議が当時ソビエト連邦のノボシビルスクで 1968 年に開かれ、日本からも何人かの方が出席されたが、この時伏見康治先生は出席されず、プラズマ研で閉じ込め研究を如何に進めるかを検討されていたようです。

中でも最も遅く発足させた BSG 計画については、当初か

ら多段圧縮の実施よりも、この計画の基礎となる非可逆等温膨張の研究に集中するよう指示され、幸い実験の方もミラー磁場によって膨張流プラズマ内に惹起した衝撃波による熱化プロセスの解明に谷内俊弥教授の指導を受けたり、ヨッフェ配位磁場によって膨張プラズマの安定化を確認できたが、いかんせん、研究開発の方向が、磁場閉じ込め性能で優劣を競いあっている世の趨勢から遠く離れており、他の実験計画を含めて実験内容の変更と体制変換等について、大河・吉川両教授等の意見を参考にされて、昭和44年、1969年3月を以て旧計画を中断し、高山教授の下、横一列の体制に組み直されました。

実はこの再編成が比較的うまくいったのには、二つの要因があるかと思っています。一つは極めて内容的なことで、国際的に進行しているいわゆる閉じ込めの研究を、QPもBSGも直接の目的にはしていないことから、閉じ込めについての関心や興味、構想やアイデア等が既に芽生えていたことで、このことは再編成直後に多くの論文となって出たことでそれを証明しています。一例が小職の場合、BSG中断の翌年の1970年には予て考えていたCCT (Caulked Cusp Torus) 配位の先駆的予備実験結果をPRL (Physical Review Letters) に出して載りました*。宮本先生や鈴木康夫氏、生田一成君も同順だったでしょう。二つ目は、この時期諸大学で行われた大学紛争の余波、というより雰囲気、主としてプラズマ研の若い助手陣を中心とする要求に合致し、速やかに対応できたことでした。

一言で云えば新体制の下で、新計画が次々と誕生してゆき、その中心となったのがJIPPステラレータでした。

*ソ連の学者ボリス・カドムツェフにより後日、同氏の著した教科書に載りました。

飯吉：その前ですね。プリンストンのCステラレータというのがある、一世を風靡していたんですよ。あれがもう妒になるんだなんていうぐらいのつもりでやってましたでしょう。それがどうしてもボーム拡散があって、非常にグルーミーになってきて、何か考えなくてはいけない、ということで、多分マルチポールを。吉川さんはそのころGAにおられましたよね？そういうのが背景にあったんじゃないですか？



飯吉厚夫氏

吉川：そうですね。マルチポールは、平均ミニマムBがどのように閉じ込めに影響を及ぼし得るかというところに狙いがあったのです。まさにボーム拡散が本質的な限界になるのではないかという不安が高まって来たとき、マルチポールから、いや大丈夫という結果がタイミングよく出て来たわけです。

飯吉：大河さんのところは、それだからというのではなくて、パラレルにちょっとやっていた。

吉川：私は国際会議に向かう飛行機に乗りながら、低温・低密度のマルチポールをやって核融合に対して、何の役に立つだろうかと思って、悩みながら行ったんですよ。と

ころが、ぴったりタイミングがあったので私としては驚きました。

○ 大河千弘・吉川庄一先生の来日

小川：私自身、この座談会のために調べていて衝撃的だったのは、大河千弘、吉川庄一先生が閉じ込め研究の重要性を研究所員に訴えたのは、伏見先生自身が実質的には仕掛人だったということですね。それは初めて知りました。

飯吉：私は、日本はもうちょっと進んでいると思っていた。私はそのころ、慶応大学で、ほとんど核融合のこと知らなくて、プラズマ



小川雄一氏

研究所とか、京都大学でいろいろやってたでしょ。だから、さっきのストーンエイジより、もうちょっと、アイアンエイジくらいかなと思っていた。ただね、外野にいましたからね。

小川：そのまっただ中にいらした宮本先生、いかがでしょうか。

宮本：はい。プラズマ研究所ではほとんどリニアーマシンだったですね。閉じ込め実験という課題からは程遠い状況でした。閉じ込め実験は、当時ボーム拡散で悪戦苦闘していた時代でしたから、まずそういう現象の少ない直線プラズマで研究を始めようということだったかも知れません。伏見先生は1965年IAEAカラム会議に出席された折、当時のプラズマ研究所の研究計画が世界の趨勢からずれているとの危惧をもたれたと推察しています。カラム会議のハイライトは、閉じ込め特性における平均ミニマムBの重要性を実証した大河千弘氏のトロイダルオクタポールの実験結果でした。1967年先生は大河氏とプリンストンプラズマ研究所で活躍されていた吉川(庄一)氏を日本に招聘されました。おかげで所員は、お二人の講演を聴き、質疑応答ができ、おおいに啓発されました。伏見先生はプラズマ研究所の再編成をするためにさまざまな心配りをされました。所員の有志を集めて閉じ込め研究の論文紹介の研究会を立ち上げ、みずからも平均ミニマムBの理論の紹介をされました。1968年IAEAノボシビルスク会議でトカマクT-3の実験結果が発表されましたが、プラズマ電気伝導度から推定した電子温度に対してまだ疑念がもたれていました。プラズマ研究所ではさまざまな議論を経た結果、1969年初めに「平均ミニマムBによる外部導体系トラス」の研究計画の公募が行われる運びとなりました。その結果、JIPPステラレータと「(興味ある平均ミニマムB配位を機動的にテストできる) 共通真空容器」の提案が採用され、新体制への第一歩が始まりました。所員らは生き残りをかけて閉じ込め研究に没頭し、世界の仲間入りをめざしました。1969年カラム研究所のロビンソン等がレーザー散乱装置をクルチャトフ研究所に持ち込んで電子温度を計測し、T-3実験結果を追認してからは、いわゆるトカマク旋風が起きました。1971年にIAEAマジソン会議、1973年に伏見所長の御退官があり

ました。1974年には東京でIAEA会議が開催され、日本は世界の仲間入りを果たしたと実感しました。

○ レーザー核融合研究の生い立ち

小川：ところで伏見先生はレーザー核融合に興味を持って、レーザーの方がシンプルだから、レーザーをやりなさいと。山中千代衛先生を、このころ呼んで来ていますね。

山中：そんな単純な話ではなくて、プラズマ計測にレーザーを使おうということで、吉永弘先生がプラズマ研の客員教授になられて、計測用のレーザー、遠赤外レーザーを開発されて、それがうまく行ったんですね。その後の客員部門をどうするかの議論が運営委員会でなされたわけです。その時の議論では、相当反対意見が強かったという話を聞いています。しかし、高山先生の強い推挙があり、それでなんとか考えようかということになり、伏見先生の決断で「テストプラズマ」として進めることが決まり、1969年5月からスタートしました。山中千代衛先生から聞いたその時の様子は、みなさん、「レーザーで核融合なんかできるか!」という雰囲気だったようです。進めるにあたって「レーザーで核融合中性子を発生させる!」という約束をさせられた、ということです。

宅間：そして立派に約束を果たされた。

山中：客員部門のスタートにあたり、山中先生は客員研究に全力投球するために阪大の評議員を辞任され、私と一緒に来るように声をかけていただいたわけです。プラズマ研に設置した「激光I号」ガラスレーザーは、それまで阪大と三菱電機、大阪工業試験所、旭硝子、指月電機とで大出力レーザー開発研究会を作って研究開発した成果を基に製作したものです。当時、レーザーガラスは大出力を出すと白金の混入でガラス中に損傷が入るので、白金フリーにするためにクレイの坩堝で旭硝子が作りました。客員のスタートから3年目の71年7月に核融合中性子の発生に成功し、レーザーによるプラズマの異常吸収現象を発見したわけです。

藤田：伏見先生は、レーザーがシンプルだから、とおっしゃったのではなくて、磁場核融合の方は、とにかく材料の問題にせよ、閉じ込めにせよ、積み重ねて行かなくてはならない。その点レーザーの方、慣性核融合は、まだ物理が何か解決につながる可能性がある、というふうに信じていらした。

宅間：慣性核融合は、エドワード・テラーの「レーザーで作動するミニ水爆によって核融合エネルギーを発生する」という講演に刺激されて始まった。現実存在するものに基づくから説得力があって、軍事研究との関連の深いリヴァモアとロスアラモスを中心に始まった。

山中：レーザー核融合がその後世界的に伸びたのは、我々がプラズマ研で、異常吸収で高温のプラズマでもエネルギーが入るよということを見出したこと、それと、翌年の72年に、今言われたエドワード・テラーがレーザーの国際会議であるIQEC (International Quantum Electronics Conference) で発表した爆縮の概念ですね。これらがうまくマッチングして伸びたんです。

宅間：それ以前にいわば「神代」の時代がある。西川恭治

さんがプラズマとレーザーの相互作用を理論的に取り扱って、非線形相互作用による異常吸収が起きることを発見して、レーザーエネルギーを効率よくプラズマに注入する可能性があることを示して研究に弾みをつけたことも大きかった。

山中：その時、阪大の渡辺健二先生や池地弘行さん（当時、プラズマ研）とかが音頭をとられて、非線形プラズマの研究を進めていて、レーザーも、異常吸収、非線形の問題がいっぱい出てきた。そしてレーザー核融合の分野では異常吸収の国際会議ができた。そういう時代でした。

【大学における研究の推進】

○ 核融合の戦国時代

飯吉：今の話と関連するんですけども、皆さんにお聞きしたいのですが、1970年から90年というのは、成長期と言うよりも、私は、戦国時代だと思うんですよ。プラズマ研究所があって、ヘリオトロンがあって、大阪大学にレーザー研究センターがあって、そして筑波のミラーがあって、その終わりごろに九州大が参加してきました。とにかく戦国時代。それが日本の核融合を非常に活性化したんだと思いますね。そこは是非再認識していただきたい。プラズマ研究所だけでは、ある程度限界があったのではないかと思います。なぜ戦国時代というかといいますと、私が、あの頃、某国際学術局長のところに行ったとき、局長室でどんと構えていて、「私は京都のお公家さんでして」と言うんですね。それで、「今、核融合は戦国時代みたいなもので、誰が一番最初に馳せ参じるか、待ってんですよ」とははっきり言われたんです。だから、そういう状況のなかで、なるほどそういう見方で、文部省も見てたんだというふうに思っているんです。それぞれに、大將がいたでしょう。宇尾光治先生と、山中千代衛先生と、三好昭一先生と、それから、プラズマ研究所には高山、垣花秀武、内田と三人が、やっぱり競争して、それを支える予算もあの頃はあったんですね。非常に恵まれた時代だったですね。

もちろん原研は別格だった。大学の中が戦国時代。

山中：戦国時代という話ですけどね。私は戦国時代と思ってなかった。戦国時代は切った張ったやるんだけど。

飯吉：切った張ったやってみましたよ。

山中：やられたのは、うちの方で。＜笑＞

全員：冗談ではない。＜笑＞

山中：山中先生はね、そういったことをほとんどされなかった。

宮本：なさらなかったかも知れないけれど、山中軍団というのはすごかった。＜笑＞

山中：それよりもね、みんながこれやりたい、というのがあったから、プラズマ研と、ヘリオトロンと、レーザーと、筑波が一生懸命競ったから、あれだけ文部省も予算をつけてくれた。小川先生の議題のところで、なぜレーザー核融合をプラズマ研で発展させなかったか、と書いてあるんだけど、もし、全部プラズマ研に持っていったとしたら、核融合全体、こんなになってなかった。そのへんが全部おかしくなって、全部集中しようという話になっているわけ

ですね。核融合だけが、こないだの学術審議会の議論で、原研のトカマクと、ヘリオトロンと、レーザーと、まあやりましょうというふうになったんですよ。

宅間: 今では、核融合研でも慣性核融合の流れは作らなければならないという意識を十分に持っていると思います。その意味で、慣性核融合の立場は一時より非常に良くなっていると思います。

山中: 飯吉所長や藤原正巳所長からはサポートしていただきましたけど、組織の関係で核融合研では取り上げていただくことはできなかった。学術審議会の議論で双方向共同研究の推進が重要で推進するということになり、核融合研で取り上げていただけるようになった。

【学官の連携による研究の推進】

○ 科学研究費特別研究*

*【註】1980年度—1989年度までの10年間実施された文部省科学研究費補助金特別研究のこと。当初の7年間は「エネルギー特別研究（核融合）」として、残りの3年間は「核融合特別研究」の名称で実施された。

宅間: 内田先生が研究代表者を務められた核融合特別研究。非常に重要な役割を果たしました。あれで、いろんな大学の核融合の研究が、ものすごく進展しましたね。

内田: もし私が日本の核融合研究開発に多少とも貢献したとすれば、特別研究だったと思う。河村さんもそうだけど、本当に橋口隆吉先生が材料関係をうまくまとめてくれたし、それから、田島弥太郎先生。あの方がトリチウムでしょう。その後、河村先生に垣花さんもいらっしゃる。安河内昂さん、超伝導ですね。それから、早川幸男先生が、なんと、最後に炉工学をやった時期がありました。あの10年は、非常に大きかったですね。大きな財産でした。最後の2年前にプラズマ研究所を辞めたんで、池上英雄氏にお願いして、あと2年纏めていただいた。報告書（池上英雄他編、核融合研究Ⅰ（核融合プラズマ）及び同Ⅱ（核融合炉工学）、名古屋大学出版会、1996）になって残っているはずですよ。

宅間: 核融合特別研究は、大学等の核融合研究のために非常に良かったけれど、唯一つの問題は、10年間研究費が自動的に来たために、その後魅力と迫力に富む科研費の申請が少なくなってしまうように感じました。

飯吉: それはちょっとね。補足させていただきますと、特別研究があったからではなくて、大きな予算が、それぞれの大学の方に来たと、それで、もう科研費みたいな小さなお金は、核融合には要らないでしょうという。もっとお金のない分野に配ってくださいという趣旨で。

宅間: あの10年間は確かに大学の核融合研究のためには非常に良い時代だったと思いますが、一方で新しい発想を売り込んで何とか研究費を獲得するという覇気が薄れてしまったように個人的には感じました。結局最終状態を見ると、核融合炉心の研究活動の中心は4大研究センターが残りましたね。

山中: 2期目にセンターでの共同研究的なものも発展させんといかんということで、内田先生が決断されて、共同研究旅費をなんぼかつけていただいた。それまでは、プラズマ

研、センターはお金があるだろう。そこへつけるよりも、周りを伸ばすことが大事だということで、プラズマ研、センターの研究者は研究代表者としては提案させていただけなかったのです。3期目から慣性核融合の診断技術の開発研究が採択され、世界記録となった 10^{13} 個の中性子発生や固体密度の600倍圧縮の成果の確認の基となった計測技術を発展させることができたわけです。

小川: この特別研究では、炉工関係で、河村先生も頑張られてましたよね。そのあと炉工学関係の人が、少し核融合から離れた方もおられましたけど、メリット、デメリットはどうだったんでしょうか。

河村: とにかく特別研究が走っているときは、まともには非常に良かったと思うんですがね。スタートの頃は少しわからないことがあるんですが、安成弘先生の報告書を見ると、よく書いてあって。原子力学会と、電気学会がありましてね。電気学会の方は分かりませんが、原子力学会の方に、吹田徳雄先生、垣花秀武先生、安成弘先生などがおられて、膨大な報告書を、我々は、バイブルと呼んだんですけれども、報告書（日本原子力学会：核融合炉設計及び研究開発の現状と課題、1983.4）が出されたんですね。それに、かなり魅かれて研究者が集まってきた。

宅間: エネルギー特別研究の中での炉工学の研究が大学で立ち上がったのは特筆すべきだと思います。

河村: そのへんのことは、安先生がよくお書きになっている、原子力学会の調査研究というんですか。パンフレットを作ったときに、いくつか分類されているんですが、それが結局、大元の分類で、それが後、ずっと引きずっているようですね。そこに書かれてあるのは、トリチウム工学、材料工学、超伝導マグネット、システム工学、中性子源、それから、生物影響、中性子工学、熱工学、炉心工学。9分野に分けて書いてある。実際にはそれらを6分野にまとめ、それでスタートしたようですね。

内田: 阪大の住田健二さんは、この特別研究でトリチウムの中性子源、OKTAVIAN、ローテーティングターゲットを作られ、あの仕事が自分にとっては一番のペーパーだったと伏見先生白寿の会のときに言っておられた。たいへんうれしい話です。

飯吉: その炉工学は、日米協力の中の一環として、ずっと続いてきています。それで今年（2007年）から、トリチウムが、また特定領域になりました。

山中: 今、河村先生が炉工学を9分野出したとおっしゃったけど、結局6分野でずっとやってきた。それで、核融合の炉工学に入ってきた方の結束がものすごく強くなりましたね。前は、どうも皆さん、バラバラ。核融合特別研究で、それで結束が大きくなった。それが今もずっと続いている。ところが、炉心の方は、特定のところだけ金が、基礎の方は全然回ってこない、という議論が出まして、それでちょっとギクシ



山中龍彦氏

ヤクしたこともありましたが、核融合科学研究所ができて、再び纏まるようになった。

吉川：評価すべきですね。

○ 慣性核融合研究の国際性

宅間：慣性核融合の話で一言言っておきたいことがあります。それは、日本の研究活動が慣性核融合研究の世界的な流れの中で特筆すべき流れを作っていることです。このことは、核融合研究者の方々に認識して欲しいと思います。その一つは‘高速点火’。非常に強い極短レーザーパルスがプラズマ中で、相対論的非線形効果で細



宅間宏氏

いチャンネル状に伝播することを利用して、爆縮したプラズマの中心を効率よく加熱し、通常の爆縮より遥かに高い効率で高密度プラズマの中心に点火するという発想です。これは阪大がリーダーシップをとって、ロチェスター大学を含む世界の主要研究センターで試みられている。

山中：それは、日本の核融合ソサエティの中で、いろんなことを勉強させていただいたおかげです。皆さんがおっしゃる戦国時代で競争するのに、いろんなことを議論しても、集まった研究者の90%が磁場閉じ込めの人なので、その中で、きちんと理解していただくためには、世界が注目する成果を出さないといけない、ということで色々と努力してきたわけです。

藤田：今の話をちょっとだけセカンドさせていただきますと、成果の面だけではなくて、歴史的に、慣性核融合というと、本当に秘密研究で、IAEAの席ですら、フランスのリメイユの人たちは、「これ以上は喋れません」とか、そういう時代に、阪大であれだけのことをやったから、アメリカでもこれ以上非公開にしておく意味がなくなったという。そういう、世界を動かしたという点は、非常に高く評価すべきだと思います。

宅間：ある国際会議で、リヴァモア研究所の研究者が“*Our national secrets are flooding over the floor!*”とっているのを実際に耳にしました。彼らは、“defence”というキーワードで国家予算を引き出しているのです、自縄自縛になっている。

山中：そのことですが、アメリカの国務省の役人がキャノンボールターゲットはアメリカが非公開研究としてリヴァモア研究所でやっているホーラムターゲットの研究と同じなので研究発表をやめてくれるように申し入れに来たのです。それで、文部省と相談して、「核融合の研究をわが国の原子力エネルギー開発研究の基本方針である民主、自主、公開の原則に則って、学術研究・エネルギー開発のための基礎研究として進めているんだ。得られた知識は公開するのが研究者にとっての当然の義務である」と申し入れを断った。そうすると、向こうは、子どもの使いではないので何か成果がないと帰れないと泣きついてきたが、最後まで頑張って受け入れなかった。

宅間：レーザー核融合の研究は確かに水爆の保守に役立つと考えられますが、レーザーの実験だけを何度繰り返しても、核実験と対比しない限り水爆の保守に役立つことはできないのです。だからこそ、同じように defence がらみのプログラムとして核融合実験の予算を取っているフランスも駆け込みで核爆発の実験をやる必要があったのです。これは、山中千代衛先生が言っておられるように、事実なのです。

このような意味で、レーザー核融合を兵器研究から切り離して議論できるようにしたのも、阪大レーザーの大きな業績です。

○ トカマク vs ヘリカル

小川：山本先生は、先に話のありました『核融合の40年』（山本賢三、核融合の40年 — 日本が進めた巨大科学 —, ERC出版, 1998）の他に、それを補足する形で『核融合研究開発の余録』という書き物を原研のレポートで出しているらしい（JAERI-Review 2002-023）。それを見ましたら、第二段階計画、つまりJT-60を作る段階の核融合研究開発懇談会の技術分科会の審議のときに、宇尾先生が質問状を出してしまして、ヘリカルの方が良いという。

飯吉：それは、一貫しています。

小川：それで、それに対して吉川允二先生が、ていねいに反論の記事をお書きになっており、今も通じるような議論をしていました。宇尾先生は、ベータとか、定常化の話とか、ダイバータの話とかにおいて、ヘリカルにアドバンテージがあるんだとおっしゃってましたけど、吉川允二先生は、JT-60はダイバータをつけているし、定常の問題は電流駆動をどうするかとか、今の先駆けになるような議論をこのころやられていたんですね。まさに第二段階で。

吉川：宇尾先生は勉強されていたんですね。

小川：宇尾先生は、ヘリカルに対して、すごい情熱をお持ちだったですね。

飯吉：もう宇尾先生の頭には、ヘリオトロンしかなかったです。核融合というのは、ある程度、そういう人もいないと進まなかったのではないのでしょうか。いろんな可能性があるからです。

私と宇尾先生と共通してたのは、宇尾先生も私の前にプリンストンに行かれてたんです。その前は藤田先生。それで、何故ボーム拡散かというところで、私と宇尾先生とは同じ意見だったのです。Cステラレータは、Uベンドにヘリカルコイルが付いていて、手作りなんです。あれはプリンストンの工場で作ってる。フィーダーがありまして、 $\ell = 2$ と、 $\ell = 3$ と、フィーダーがぼぼぼぼと出ているんです。そこでもう完全に誤差磁場が出ていて、CステラレータをST（トカマク）に変える直前に、確かHoseaかHookeが磁気面を測定したんですね。エレクトロンガンで。私が帰るときになって、その結果が出てきたんですけれども、磁気島だらけなんです。僕は、これがボーム拡散の元凶だなと、そう思って帰ってきたので、もしも、誤差磁場の少ないヘリカルシステムを作れば、もっと良い結果が出るはずだという確信みたいなのがありました。宇尾先生も多

分それは同じだったと思います。真円にして、給電部をできるだけ減らして、という。最後は超伝導でというのが、そこは同じ考えです。

ただ、ヘリオトロンは、もうそれ以外はないという考え方は、私はしていません。

宅間：宇尾先生は、LHDに関してもご不満があったようですね。

飯吉：宇尾先生はシアーでなくてはだめだという。あの頃は、スタディグループ、理論のグループも含めて、我々の方は、どっちかという、 $m=10$ のウェルとシアーとのコンビネーションが良いのではないかと考えていました。最後は、ピッチ数を $m=12$ にするか、 10 にするかで、最後にちょっと生き別れになってしまった。＜笑＞。でも今思うと、やっぱりそれで良かったと思うのですよ。シアーだけだと、これほどのLHDの成果は望めなかったでしょう。

吉川：その頃学会の企画担当理事をしていたのですが、LHDの磁場構造について宇尾先生が強く異議を唱えられて、学会レベルでシンポジウムを開いてほしいと要望されたことがありました。必要ないというご意見もありましたが、開かせていただいて、その後は先生も静かになられて納得されたのかと思っていたのですが。

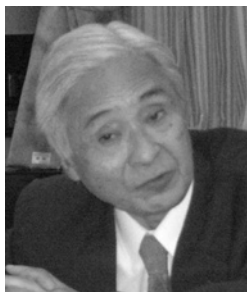
飯吉：いや、宇尾先生は納得してなかったですね。でも、もう、その後のいろんなシミュレーションとか、磁場の計算からいくと、どう考えても、 $m=14$ 位が良いといっておられたんです。ウェルが全然なくなってしまう。でも、大学の次期装置としてLHDが選ばれましたからね。それには満足されていました。

【開発研究と基礎（学術）研究】

○ 原研でのトカマク研究

小川：先ほどの伏見先生の話、私としては非常に勉強になって面白かったです。これまでにプラズマ研究所、大学関係、レーザーも含めさせていただき議論ができましたので、今度はちょっと原子力研究所の話に話題を移らせていただき、まずは吉川先生にお願いいたします。

吉川：科学技術庁のもとでの研究は、将来の核融合炉の実



吉川 允二氏

現に向かって計画性を重視して進めるところに特徴があります。この意味で文部省のもとでの研究と相補うものであったと言えます。研究は、第一段階である原子力特定総合研究（核融合）（1969-74年）から、第二段階核融合研究開発基本計画（1974-92年）へと進みました。第一段階の中で原研は、計画の中核であったトラス装置を担当し、その重点をト

カマクに置きました。また、技術や炉工学もできるだけ進めようということで、加熱技術や超伝導工学の開発を始めました。

1970年、米国ではCステラレータをSTトカマクに改造しました。これに続いて世界各国ではトカマクへの研究投資

が増え、1970年代には20台を超えるトカマクが建設され、さらに1975年には当時としての大型装置PLT（米国）とT-10（ソ連）が完成しました。

この間、世界の核融合先進国は、走りながら次の段階の研究計画をどうするかを考えていました。日本でも、外国で活躍しておられた大河、吉川（庄一）両先生のご意見を伺いながら、世界のトップ集団に加わるべしという積極的な意見が高まってきました。このような国レベルの方向づけを行うには、各界の最もハイレベルの方々に審議していただくが必要と考えられ、1973年5月に核融合研究開発懇談会が設立されました。報告書は1974年7月に提出され、これを受けた原子力委員会は1975年7月に第二段階核融合研究開発基本計画を策定したのです。

この時代、日本は国自体に勢いがありましたね。山本先生によれば、懇談会の席上、経団連会長の土光敏夫氏は「核融合の開発は原子力委員会だけでは駄目で、経団連でも考え、国民的運動でやるべきである」と発言されたとのこと。また、岡崎嘉平太氏（のちに全日空会長）は、『東洋経済』の巻頭言で日本が核融合の開発を進めるべきと強く提言されました。またこの頃、福田赳夫先生が核融合に関心を持たれ、山本先生のご進講を何回か受けられました。福田先生は後に首相になられ、いわゆる福田イニシアティブが日米核融合協力に結実し、核融合の推進に世界的推進力を及ぼしました。

小川：福田赳夫総理なども含まれており、まさに、財界、政界、すごいサポートでしたね。

吉川：いちばん盛り上がった頃ですね。この計画の審議に当たっては、懇談会の事務局には、森茂さん、関口忠先生、吉川庄一先生が入られて、いろんな企画や方向づけをされました。技術上の審議のためには、伏見先生を会長とする技術分科会という下部組織を作って、これをベースに最終的に懇談会の結論を出されたわけです。どういうことかというと、核融合は、トカマクを使って、臨界プラズマを実現する段階に足を踏み入れるべきであり、そのことによって、20世紀の終わりか、21世紀の初めには、核融合による発電の実証ができる、という結論だったんです。懇談会では、計画を進める上での心構えについてご注意を頂きました。座長の井上五郎氏は、「核融合炉は一朝一夕にできるものではない」、また伏見先生は「日本は後追い型から脱するべきで、失敗をよく理解していただきたい」と身が引き締まるご発言がありました。

第二段階は、プラズマから炉工学にわたる総合的な計画ですが、その中で中核であったのは臨界プラズマの実験をめざしたJT-60です。設計上の眼目は、第一にプラズマ断面は円形と決められていたのですが、トロイダルコイルの口径を大きくして、ポロイダルコイルをプラズマごと口径の中に入れてしまう、これによって将来の改造のためのフレキシビリティを確保しておく、第二にプラズマの境界をリミターで決めることは設計上無理と判断し、磁気リミター（ダイバータ）を初めから設置するということでした。このため設計には難しさもあり、不安もあったのですが、順調に動いてくれました。フレキシビリティはJT-60Uへの改

造を可能にしたという意味で成功といえるかと思っています。

小川：その辺は、宇尾先生と吉川先生との議論で、トカマクは、金属リミターなので駄目だと言うのに対して、吉川先生それに果敢に挑戦されたわけですね。ダイバータ研究はJFT-2aの時代からですが、こういう面での競争が良い方向に働いたのですね。

吉川：競争は進歩の源として歓迎なんですね。文部省と科技庁と二つのチャンネルがあったということ、さらには文部省の中でいろいろな方式で競争していくということは、日本にとって良かったと思います。

宮本：トカマクだって、ダイバータは、ASDEXが82年に作っているんですよね。だから、むしろダイバータという意味では、トカマクの研究の方が進んでいたのではないかと思います。

吉川：原研はすでに74年に、JFT-2aを作ってたんですね。

飯吉：『余録』に書いてある宇尾先生と吉川先生との論争。へえーと思いながら読みましたけど、それともう一つ吉川先生がJT-60の立ち上げの時のご苦労の話を読んでいて、この資料で初めて知ったのですが、このころ新しい法人を作ろうと、理研と、電総研と原研で、という話が、だいたい煮詰まっていたけど、最後できなかったということですね。

吉川：そうなんです。実は第一段階でも議論はされていたのですが、時期尚早ということになりました。第二段階では、この三研の研究の一体化と、文部省で行われている研究を含めての一体化が時間をかけて積極的に審議されました。しかし、最終的に原子力委員会は新研究所を直ちに決定するよりも、研究開発体制については引き続き検討することが適当とし、当面協力参画のための体制整備として、核融合会議を設けるとしたようです。

小川：結果的には、その後、そのような動きは、なかったですね。

吉川：当時、核融合会議が新研の議論をする場でもあるという認識がありました。しかし、残念ながら新研を作るかどうかまで事態が進展しませんでした。第三段階の間に、ITERやその他の計画が成熟すると、核融合学界だけでなく原子力学界や産業界を含めて新しい体制の議論が必要となってくるかもしれませんね。

ところで、JT-60は1985年3月、加熱装置は1987年3月に完成しました。加熱装置を用いた実験の目標は、当初原子力委員会の定めた目標（臨界プラズマ条件目標領域）を予定した時期（1987年9月）に達成することに絞りました。運転はHモードをやったのですが、結局はLモードのままでプラズマ電流を最大化することで達成しました（ただし重水素プラズマの閉じ込めに換算するとしてでした）。この勢いをつけて、すぐJT-60Uへの改造計画を提案し、1989年に運転を再開しました。物理的な意味での臨界プラズマ条件の達成は1996年11月、10年近く後のことです。

小川：吉川先生がおっしゃった第二段階のJT-60の立ち上げから成果の話を、大学の方から見ていて、宮本先生としてはどのような意見を持たれていましたか。

宮本：JT-60Uになってから、JETとか、TFTRと匹敵するデ



宮本健郎氏

ータが出始めて、それで外から見ても、文字どおり世界をリードするようになったと思います。確かにこれでITERに行く道筋が見えたというふうに思いました。

ITERと関連して、INTORの話に触れたいと思います。INTORは、78年から始まって、約10年続いたんですが、これは森茂先生が、ずっと議長をやってこられたわけ

です。ITERが非常に華々しく動いていますから、INTORの果たした役割が忘れられているのではないかという気がします。実はこの10年間に4極が協力して、曲りなりにも一つの計画を打ち出すことができ、相互信頼ができたという事実は、ITER発足の礎になったと思います。私は最後のフェイズ2aの時期に、約2年間参加しました。まあ大変激しい議論がありましたけれども、最後はまとまりました。森茂さんでなかったらできなかった、という気がするくらいでした。皆さん、自己主張が強くて、でも、それがなぜ10年間続いたかという、それぞれ宿題の検討結果を持ちよって、4極が突き合わせるわけですが、1極が一つの成果を出して、外の3極から三つの成果をもらい、比較検討するわけです。これは、お互いにとってメリットになったと思います。

○ 研究費に対する責任

小川：ありがとうございます。ここで、原研での研究に対して、もう一度大学での研究に話を戻させていただきたいと思います。

飯吉：大学の中のコンペティションがとにかく大変だったですね。核融合会議はいつからだったのでしょうか、「大学は基礎研究」、「原研は開発研究」がはっきりしたんですね。ですから、あまり原研と大学との軋轢がなくなってきたんですね。予算の面もそうだし、開発研究と基礎研究という形で、すみ分けをしたのは、どこでしたかね。それからもう原研は基礎研究という言葉を使わなくなって、大学は開発研究という言葉を使わなくなった。予算要求の時には、そうしないと、大蔵省に行って、どう違うの？といわれた時に、一番わかりやすい。

小川：今も開発研究、学術研究という二つの車輪で核融合をやっているというので頑張ってきたんですが。

飯吉：そうなんです。総合科学技術会議というのがありませんね、あの中に学術研究という表現が一言も出てこないんです。そこに出てくるのは基礎研究という言葉ですね。大学の先生は学術研究だと言っている。そこで、今、すみ分けしているところがあるんですけど。

文部省系は、大学の研究のことを学術研究と呼ぶ。旧科学技術庁の方は、基礎研究と呼ぶんです。それはたぶんその名残があるんです。

山中：総合科学技術会議では学術研究という認識はなくてわが国の産業技術等の国力の進展に繋がる戦略的基礎研究という考え方が中心。

飯吉：学術審議会というのがありましたね。それが今度、科学技術学術審議会になったわけです。旧科学技術庁も入ってきたから。もう実際は二つに分かれている。

河村：私は13年間科学技術庁の金属材料技術研究所にいて、それから文部省所管の大学に行ったものですから、そういう意味で、二つの違いを私の目からみた話なんです。科技庁関係は、予算に対して責任があるな、という感じがしましたね。文部省は、あまり責任感がないんじゃないかと。



河村和孝氏

宅間：そんなことはありません。学術に関する責任感には旧文部省や大学等では重大なものです。応用に対する責任感はそれに比べると薄かったかも知れないけれども。

河村：とにかく、全体的に見て、片方は一応目的があって、それに対してこういって、確かこの80%までいったか何%いったかという表現にいくわけなんだけど、片方の文部省関係は、お金がどこにいったのか全然わからない。それが当時、僕が、文部省の方に行った時に感じたのは、責任感、責任の所在がどこにあるのか？大学の先生の予算に対する責任の所在は？

宅間：それは重大な責任を感じてやっていますよ。学術研究において、外国に一步も引けをとらないという重大な責任を持っています。その成果が金になるかならないかはまた別な話です。少なくとも、人類の自然に対する理解を深め、正しく理解するということに対する責任は十分に感じている。例えば、現代の医学でも、そのような進展から思いもかけなかったような治療法が発見されたりする。そのような研究の成果によって延命できている人達も決して少なくない。河村先生も、そのお陰で命拾いすることがあるかもしれない。

飯吉：あの科研費というのが、その責任がそう見えるのです。科研費はボトムアップで、個人の自由な発想で研究をする。それで、科学技術庁の方はトップダウンで、プロジェクトで来ますよね。だから当然、それは目的意識が強く指向されてきた。科学研究費は失敗してもいいんですよ。

宅間：科学研究費をもらったら、然るべき一流学術誌に成果を載せる責任は十分に感じています。

吉川：文部省系も、評価制度がずいぶん浸透してきた。かなり厳しくやってるでしょ。

宅間：それぞれの学術雑誌にインパクトファクターを与えて、(インパクトファクター) × (論文数) で業績を評価するのは、誰でもわかる評価法という意味では役に立つかもしれないが、真に学術的な評価がそれでできるとは限らない。本当に新しい優れた仕事で、レフェリーに理解できないものが在ってもおかしくない。インパクトファクターの高い雑誌でも、査読がいい加減で、レフェリーが捏造データを見破れない例も少なくない。このような過度な客観評価とそれに基づく競争は、財務省向けではあっても学術への貢献という意味では甚だ疑問です。本当に研究の評価が

出来るのは、その道の大家だけです。

河村：私の話は、成長期の話ですからね。＜笑＞

小川：今伺っていて、文部省系の学術的な評価の仕方と、科技庁系の評価の仕方を含めて、達成度の話を含めて、ちょっと文化が違うんですね。文化が違う省庁が統合になって、そういう中で、核融合が両方の文化をどういう形で、どう斟酌しながら進めていったらいいのか、そのへんのご意見を是非とも伺えればと思います。文化の違いというものをごポジティブに受け止めながら、どうやっていったらいいか。

宅間：それはおそらく核融合科学研究所の設立の経緯とか、その中でなぜヘリカル系が選ばれたか、という経緯が非常に関係ありますね。

○ 核融合研設立に向けての議論

宅間：核融合科学研究所ができるときには、そこでどんな大型研究をやるべきかについて、核融合部会の下にワーキンググループが作られた。部会長の早川先生からその主査をやれといわれて、西川さんと二人で4つのサブ・グループ①自己組織系（トカマク型）②外部導体系（ヘリカル系）③直線系（タンデム・ミラー）④慣性系をつくり、必ずしも専門的に研究した人達でなく、学術的に検討できる人で、それぞれのサブ・グループのメンバーを決めました。議論は、あくまでも学術的な立場からポリティクスを排して徹底的に行い、さらには大型装置の建設に少なくとも10年の歳月が必要なことを考えて、諸外国の計画を認識した上で完成時に有意義でユニークな学術研究が可能であることを条件として本格的な議論が行われました。

各サブグループメンバーが他のサブ・グループの検討会にも自由に出席することとして、約半年の期間に100回近い検討会をインテンシブに行いました。私と西川さんはそのほとんどの会合に出席したので、他のことは何もできず、ひたすらこの作業に没頭しました。特に過去の重要なデータに疑問が出された場合には、追実験までやりました。

その結論が現在の核融合研究所のヘリカル系の研究です。基礎領域の研究者として、私にとってのヘリカル系の魅力は、磁場の配位をかなりの自由度で変えて荷電粒子の閉じ込めの特性を実験的・理論的に調べることができることと、世界に類を見ない系だということです。また同じトラス系であることから、トカマク型の閉じ込めについても研究できる点が魅力的でした。トカマクは確かに面白いシステムですが、私には個人的に「自己組織化」という面で、任意に制御し難いのではないかと抵抗がありました。勝手に安定な配位を取ってしまうというのはどうも不愉快。＜笑＞

直線系も面白いシステムですが、実際に炉のスケールにできるかという問題がありました。

一方で、慣性核融合は当時の研究者数が磁場閉じ込めに比べると、はるかに少なくて直ちに国家的な計画にするよりは、しばらくの間阪大で続けたほうが賢明だろうということになりました。

このような経緯で大型ヘリカル計画が取り上げられるこ

とになったのですが、ここで強調したいのは、このワーキンググループの作業で、ポリティックスを排除した純粋に学術的な検討が徹底して出来たことです。このことはわが国の核融合研究者が誇るべきことと思っていますし、この作業に参加した研究者の方々に對して少なからぬ敬意を持っています。

ところで、この機会に申し上げたいことは、核融合研究者の責任感があまりにもエネルギー生産に集中していることです。核融合プラズマは、宇宙のエネルギーの根源です。現存する知的存在として、その本質を理解することは人類の使命ともいえると思います。エネルギー生産の技術としてだけでなく、核融合プラズマを知ること自体が人類の使命と考えられないでしょうか。

その意味でも、核融合プラズマの研究の意味づけ、重要性が主張できないだろうかと思います。

内田：それで、「いつ頃エネルギーが出るんですか？」と言われたらなんと答えますか。

宅間：エネルギーを生産する技術を開発するのとは違った立場でも核融合プラズマの研究に対する価値づけができるのではないかと思います。「宇宙のエネルギーの根源である核融合プラズマを、どのようにすれば地上で閉じ込めることができるか？」というだけで興味ある研究課題です。いろいろな天体で核融合エネルギーがどのようにして生産され、星の一生の中で核融合プラズマはどのように変遷するか？地上で核融合プラズマをどのように閉じ込めることができるだろうか？など多くの人達が知りたいことは多いと思います。そのような立場から核融合研究を位置づける努力も必要だと思います。

【将来へのメッセージ】

内田：今交わされている議論ですけど、考えようによっては、プラズマ・核融合学界人の間の話と言えませんか。つまり今の話では、お互いうまくやっていますので、このまま進めていけばよいのではないかと、というふうに聞こえてきます。

ところが世間には、「核融合からエネルギーを出すと言っているが、結局、いつになったら出してくれるか教えてくれ」という問い掛けが潜在的にあるのです。昨年（2006年）ノーベル平和賞を受けた IPCC 委員会やアル・ゴア氏が指摘する地球の持つ危機に対して誰一人、「核融合があるから大丈夫」という人はいない。内からも外からも。

そんな中で内にいる人達が、物理が大事だ、互いにうまくやっているから良いのだというのは、外へ出すメッセージにならないと思う。

宅間：確かに純粋な研究者としての興味だけで十分ではないと思います。今内田先生が言われたような覚悟は、核融合研究を続けてゆく上に極めて重要だと思います。

内田：一つのソサエティの中で成り立つ議論でも、そのソサエティの存続を認めている社会に対して説得の用意から、なにがしかの発言をしていかなければ、あの連中は何を考えているか、いつしか疑問の目を持ち、サポートしてくれなくなってくると思います。

○ 十分やれなかったこと

小川：内田先生のご指摘のとおりで、将来へのメッセージということで、ぜひ伺いたいと思います。まずは吉川允二先生にお聞きしたいのですが、山本先生に対する本（註：「核融合の人々は語る」と題する「山本賢三先生米寿お祝いの会」に際して出された本）の中で「十分やれなかったこと」ということで、三つのことが書かれています。一つは各界に対する働きかけをもっと強くすべきだった、二つ目は核融合に対する声をもっとまとめる努力を進めるべきだった、三つ目は、核融合実現に関する疑問にどう答えるかに関して工夫すべきだった、ということを指摘されています。この辺を踏まえて、将来へのメッセージをいただければと思います。

吉川：そうですね。第一の点は、核融合が立ち上がったときから山本先生、森先生はじめ第一世代の方々が福田、岡崎、土光というような各界のリーダーやジャーナリズムの信頼を受け、理解と支持を得たという事実です。私などはこれらの方々の遺産の上にやっとなんかできたという感じがしています。やり方は人の個性によって違いますので、次世代の方々が自分のやり方で努力していただければと思います。

第二の点は、研究者が違った意見を持つのは当然でよいことですが、外部に働きかけるときはコミュニティとして一つの意見にまとめていってほしいということです。わずかの不一致が大きな被害につながることもありえますので、次世代の方々がうまく意見をまとめられることを期待しています。

第三の点は、さきほどの議論にもありましたが、社会は「核融合のよい点はわかる、だけれども本当に実現できるの？」と疑問をもっているのです。これに対する「わかりませんが、努力します」という答は不十分であり、責任を果たしていないとさえ思います。質問する人は、専門家の思考の深さを試してあえて疑問を呈しているのです。いろいろな答え方があります。標準的には、「この計画は、世界各国がハイレベルの第三者委員会の審議を経てきめたものです」でしょう。さらに、「私たちの実績を見てください。コスト、スケジュールを守って目標を達成してきました」とか、プラズマや材料の性能の年ごとの進歩をグラフで示して、「将来のことを予言することはできませんが、過去の実績を延長すれば、2030年には必要とする性能が得られると思います」というような答え方もあります。これは人それぞれだと思いますので、ぜひ工夫していただければありがたいと思います。

○ 新しいアイディアへのチャレンジ

飯吉：私は今の吉川先生に大賛成なんですけれども、一つ加えさせていただくと、もう少し、また原点に戻って、若い人たちが、もっとアイディアを出す時期に来ているのではないかと思います。要するに今のITERやヘリオトロンの流れの本当の延長線上に商業炉があるのか、ということを考えたときに、いや、実用になってくるとは思いますけれども、生き残るような実用炉になるのかということ、まだまだ

アイデアが不足していると思います。私どもが核融合研究を始めたころは、‘full of ideas’、いろんなアイデアが出て、いろんな方式が出て、それで、淘汰されてきたことは事実なんですけれども、これだけプラズマのパラメータやいろんな技術が発達して、進んできた中で、可能性として、新しいアイデアがないのか。例えば、とにかく数億度、1億度の温度を出して、そして、タービンを回す、お湯を沸かすというシステムでよいのか。実用炉としてもっと何か魅力のある方式がありうるのではないかと。それは若い人たちが考えてもらわないと、我々は、もうその路線をずっと来ているから。例えば、直接発電とか、D-T核融合以外の可能性とか、まだ研究されていない。当初はいろいろ可能性があって、難しいということが今言われていますけど、本当に現在の技術や物理を駆使しても、前と同じ結論になるかどうか、一度、若者と言うか、また、新しい人が、ITERを作っている間は暇になりますよね、研究者は。その間、本当に、将来のことを考えて、アイデアを出すようなことも含めて、プラスアルファしていただきたいと思えますね。そうすれば、外から見たときに、「ああ、核融合というのは、ひょっとすると、もっと魅力のあるものが出てくる可能性があるな」と。例えば、加速器で言いますと、もうどんどん大きくなって、LHC、リニアコライダーですか、次はまだそれでいけるんですか？となると、そうするとこんどは、プラズマ加速みたいなものができて、もっとコンパクトな加速器を作ろうというアイデアが出てますよね。そういう意味で、核融合も、もう少し何か新しいアイデアはないかなと。これは私が辞めたから言ってるのではなくて、昔からそういう思いがあったもんですから申し上げたんです。

山中：さきほどの宇宙とか、核物理というのは、純粋科学なんですね。要するに、芸術みたいなもの。一般の人から見るとね。そうすると、素晴らしい音楽なり、絵画なりを出してくれればいいわけなんですけど、核融合は、実用があるわけですね、エネルギーを発生するという必要があるわけですね。それで、ものすごいお金がかかる。5年、10年で済んだら良いわけなんですけれども、長期間かかるわけですね。そうしますと、一人の人間が核融合に興味を持って見ていると、そんなに長い時間関心が続かない。5年、まあ10年ぐらいですかね。じゃあどうすればいいかというと、違う発想が要すると思うのです。飯吉先生の言われるようにもっと新しいアイデアで、挑戦的な方向を出さなくてはアカンよというのがありますけれども、それでも、そのアイデアを試すためには、10年、20年かかる、ということになるわけですね。私が前から言ってるのは、核融合研究をやって、社会の人が、他分野の人が、あれは役に立つと思えるような波及成果を含めた発表をしないとイケない。どうもそれが見えてないじゃないかと思うんですね。

小川：他分野への発信が未だ不十分ということですね。

山中：大学の中でも、「お前らいつまでも研究やってるけど、エネルギーが一つも出えへんな」と言われる。結局、副産物でもいいからちゃんと出して、やっぱり「これをやらし」といた方が、いいこともあるわ！」と、そういう認識を持

たせる必要があるんじゃないですかね。

○ これからの人材育成

宮本：メーカーの人と話したり、出版界の人と話したりしてるんですけれども、世の中の目はもっと冷めていますね。つまり、吉川さんもおっしゃったんですが、プラズマ研ができる頃というのは、いろんなところで関心が持たれていて、熱気があったんですね。プラズマ・核融合の良い本を出すといえば、引き受けてくれる雰囲気がありました。しかし今は、「若い人が一体どのくらいこの分野に来るんですか？とても出版できません」という雰囲気です。それからメーカーの人たちが言うのは、例えば、某企業では、「JT-60建設時代の核融合のエンジニアリングスタッフはおりません。まあ核融合室というのがあって、何人かが居るけれども、昔の技術者は一人も残っていません。」というのです。そういう現実をある程度きちっと見据える必要があります。ITERの結果が出てくるまでの期間、若い人たちを引っ張っていくことは難しいんじゃないかという危惧を持っています。面白いアイデアを出すというの必要ですが、やっぱり世の中にインパクトを与えるような結果を出し続けることが重要です。例えばITERが立ち上がるまでに、トカマクのHモードとか、ゾーナルフローとか、いろいろな新しい結果ができて、我々も心が踊ったわけです。これからITERの運転が始まるまでの、あと約10年間にどのくらい若い人たちを引きつけて、大学の先生方がどういうふうに優秀な学生を集めていくかということが、非常に重要になってくるのではないかと思います。私が現役でいた頃というのはラッキーな時代で、優秀な人たちがきてくれたんですが、今後は必ずしもそんなふうにはならないのではないかと思います。

核融合および関連する分野で興味のある結果を出して、若い人たちの興味を何とかして引きつけ続ける。優秀な学生が来る限りは、その分野は、生き残っていけると思えます。大学の先生のいちばん重要な役割だと思います。

吉川：具体的な案があると良いのですけどね。ITERに参加する、国際舞台に出て、アメリカで仕事をするとか。

宮本：原子力機構とか核融合研では、もうあまり人を採用できなくなっているように思われます。学生たちは非常に敏感ですから、ドクターに行っても就職口がないということになると、もうそんなに来てくれない。いまの状態のままでは、原子力機構からITERに派遣するだけの人的余裕は、BA（Broader Approach）のこともあり、あまりないでしょう。原子力機構、核融合研などの大きな組織や、大学の中に、ITERで活躍できる人材の枠を確保することが必須です。

小川：今おっしゃった人材育成の問題は非常に重要で、大学ではいつも考えています。さっきの飯吉先生の話にもつながるんですけれども、大学としては、ITERやBAと連携を取りながら、一方で大学の中で輝いていることが肝要であると。アカデミックに輝いているテーマを大学のなかでキープしながら、それに学生が魅力を感じると共に、育った後はITERなどで活躍する、そういうふうに考えているんですよ。

飯吉：‘one of them’ではダメなんです。自分たちで発想したりというのが、大学の中しかできませんよね。大きなプロジェクトの中に入ってしまうと、もう‘one of them’になってしまって、プロジェクトが大きくなればなるほど、与えられた仕事をするということになる。若いうちはそれではちょっと耐えられないでしょうね、優秀な学生は、自分の発想がどんどん取り入れられるような環境にないと。それが大学です。

小川：大学でドクターを出た後も、ちゃんとポストがあるようではないと。

飯吉：それは大事。この前、ある程度割り出したではないですか。今のITERとか、将来どれだけポストがあって、という。それはどうだったんですか。

小川：その結果を、今はさらにブラッシュアップしています。ロードマップを含めて、第二段階の時の伸びに比べて、第三段階では人員の伸びは少ない。

○ 学術発信に向けて

宅間：核融合研究者の方々には、いつ核融合炉がエネルギーを供給できるかという使命感にこだわり過ぎる所があるように思います。学術的な興味が広く世の中で認識され、多くの人が興味を持って惹きつけられるものを提供しなければならない。

慣性核融合のグループで盛んになりつつある「実験室天文学」というのがその良い例です。最近大きな望遠鏡で、宇宙のかなたにある星の詳細がきれいに見えるようになった結果、不思議な形の天体が数多く観測されるようになった。それらの説明には、核融合研究が深く関係し得る。核融合研究に関係するそのような多くの人の興味を惹く材料を提供することによって、核融合研究は世の中の理解を別な角度から得ることができる。そのような努力がこれまで不足してきたように思います。

山中：それは非常に大事なんですけどね。核融合はエネルギーとのつながりで始まっているわけですね。physics が面白い、目に見えて面白いというのが、なかなか出てこないです。我々の言い方が悪いかも知れないけれども、プラズマの乱流をきちんと調べたら、洪水のメカニズムがわかるよとか、そういう発想で、物事を喋る人が誰もいない。

宅間：それが必要なんですよ。例えばね。新しい望遠鏡で星を観測すると、変なのが見えて、いままで見えなかったのが見えてきた。これ一体何だろうという。それは興味もつんですよ。それともう一つ。社会的に応用のことを言うときに、原研のトカマクが立ち上がる頃の社会情勢と、今の社会情勢と比べると、全然違う。国もそうだし、会社も、違うんですよ。会社が、エネルギーが全然ないんですよ。覇気もないんです。会社の中を知っていると余計わかりますけど、だから、あのような状態を期待してもダメなんです。もし、期待するとすれば、やはり国民全体の興味を引きつけること。どうやって興味を引きつけるかということ。単に学術的な研究は役に立たないからダメだと、我々が言っちゃったら敗北してしまう。学術研究こそ価値のあるものだ。本当に人間の‘raison d’être’（存在理由）を決めるもの

が学術研究だと。そういう意味で、学術研究全体を、我々は重要性を主張しなくてはいけないし、また、それを裏付けなくてはいけないと思うんです。同じ核融合研究でも、まとめ方によってずいぶん違うんじゃないかと思いますがね。

宮本：若い人に、ポストを提供できるような環境を作っていくことが、一番重要でしょう。それで、ITERの組織のなかに、せっかくポストがあるんだから、積極的に応募するようにし、10年あるいはそれ以上活躍し日本に帰ってくる場合は国内に、たとえば核融合研、原子力機構などの中に、ポストの枠が用意されていて、その枠に既にいる新人と入れ替わっていくと良いですね。

吉川：原子力機構には、高速炉とか核融合とか目的指向で息の長い部門があります。例えばITERに長く行っていた人が戻ってくるというようなことは可能ですが、現実的には人事上の不利益を生ずることも考えられますので、長期的に目配りをしている必要があります。一方、研究者の方も、研究のテーマや勤務地にあまりこだわらない気質が育ってきているようですが、こんな気質を組織として評価する文化が必要でしょう。近年、もと核融合という人が結構多く核融合外の重要な地位に就いたりしています。人事の流動性が高まっていることの一つの表れと思っています。

山中：一般国民の科学に対する理解度を上げないと、どうにもならない。だんだん理解度が悪い方へ行ってるんです。技術が役に立つものが科学。基礎的な、非常にファンダメンタルな重要なものは、あんなものは科学ではないと思っているふしがある。そういう認識になっている。これから研究を続けていくためにはその辺を、みんなで一生懸命、教育する必要があると思う。小学校、中学校の先生に基礎科学が大事なんだという教育をしていただけるように働きかけていかないといけないと思います。

河村：一般の人にどうやって知ってもらおうかという話で、僕ならこうやるという、全く個人的な見解なんですけれども。今ある装置で、100のエネルギーをつぎ込んで、1でも2でもいいんだけど、核融合のエネルギーを引っ張りだして、それで電球をつけるとか、何かをしてもらうと。これは、今は100分の1しか使えていません。5年経ったらこれが50分の1になります、なりましたと。やがて10年経ったら、1まで、ブレークイーヴンまでいきましたというのが、一般の人に対してですよ、僕ならそういうことでアピールする、というのが一つあります。

○ 核融合と日本人

小川：では最後に内田先生。

内田：今日これまでに話され、交わされてきた会談の基となる視点とは大きく異なる処から意見を述べたいと思います。

その視点とは、これまで、四十数億年の歴史を持つこの地球上において私達人類が急にチエをつけてそれ迄の生物圏から脱け出し、固有の所謂人間圏を創りあげたのは、たったここ2万年前からだということです。その間、人間族は他の動物にない際立った知的能力をもっていたため、実

に多くの自分達にとって便利なもの、楽なものを創りあげてきました。

しかしながら如何んせん、わずか2万年の間の開発ですから全くの経験不足であり、自分達にとって都合のよいものからさらに楽しいものまで手に入れ、あるいは創り出すのに精一杯でそれがどういう影響を自分達が住むこの地球に与えたか、今頃になってやっと反省の機運が高まってきた処であり、他方、自分達の生きる目的が判然とせぬまま、心に抱いた信心に基づく宗教活動や、相互互惠を願って行ってきた経済活動がどれ程の効果、あるいは災害をもたらしてきたか、わからぬままに来る日に夢を託す日常をみると、これら宗教や経済の二面から示された現実の政治のほとんどが未完成、若しくは間違いであった歴史から言えることは、エネルギーの解放を謳って傾注してきた、傾注しつつある、そして傾注しようとしている人類の核融合制御への努力など、賞讃されればこそすれ、非難されるべき一点もないといえるのです。

問題はただ一つ、この地球上という環境で他の諸条件の交叉する中で人類はそれを実現できるか否かであり、その見極めと実施計画の立案・実施に当たって、周知の様に温暖化現象の時間推移との兼ね合いが、その命運を決めます。この辺、問題は国際認識の及ぶ範囲で事を決する必要がある、2007年のノーベル平和賞をとった国際活動集団 IPCC に伍して議論し、共に *ambiguous* な将来像の飛交う中で、お互いの立場を決するのに何等臆する必要はありません。

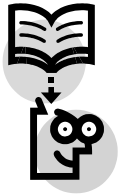
その様に今後一層、国際的な同意と協力、国際作業が進んでゆく中で、最後にわが国、日本の存件について述べておきたいことがあります。

それは、私達の日本という国が地球上、地勢的に非常に恵まれていて、両側を黒潮と親潮に洗われ、緯度も適切で

温暖であり、季節の変化に富み、大陸から離れていることで外敵襲来の歴史も少なく、ために情操優れた文治国家を築きあげ、長い間それを保ってきました。武士道をはじめ、茶道や華道、歌仙等、文化的華やかさは正にハンチントンの8番目の文明国家に数えられたのであります。

ところが、ニコラ・マキャベリの言葉：“そのことに依って栄え、そのことに依って衰う”ではありませんが、そのように長い間恵まれた国家環境の下にあったことが、「和を以て尊し」となす美德の陰で、交渉には主張よりも折衝に依って調和を図る傾向が定着し、常に発想が内向きで国際性に乏しいことが、吾が国本来の、又は日本人本来の特徴を曲解させる傾向をもたらし、私達が孤立する恐れがあることは、特にそれが国を代表する立場の人の発言や声明及び態度に見る時は、国として大きな損害を引き起こす可能性があり、この事はソサエティの場合も、個人の場合も同じであって、自らの文化が持つ固有の文化の長所、短所をよく知っておく必要のあることを申し上げたいと思います。
小川：ありがとうございました。まさに核融合研究の50周年ですから、過去50年間の蓄積のもとに、また51年目という新しい節目を迎えて、頑張っていきたいと思います。平成17（2005）年にまとめた原子力委員会の基本問題検討会の報告書でも、核融合が環境問題の解決に貢献するためには、21世紀中葉に実用エネルギー資源の一角を担い得ることが必要であると述べています。それからエネルギー、および科学技術創造立国としての国家的な技術安全保障などの観点で核融合が必要であると述べています。

過去の50年を振り返るとともに、これからの核融合研究に関して、貴重なご意見をお聞かせいただき、本日は本当にありがとうございました。



「核融合の歴史を遺す座談会」 ー 共同利用と共同研究 ー

この記事は、プラズマ・核融合学会が核融合研究の50周年を記念して企画した一連の座談会のうち「共同利用と共同研究」に関する座談会の記録である。座談会を始めるにあたり、「核融合の歴史を遺す座談会」小委員会委員長の藤田から、座談会の趣旨、経緯などについて説明があった。座談会は、延べ4時間余りに亘って行われ、その記録は膨大であったが、紙面の都合もあり座談会担当委員の責任において割愛した箇所も多かったことをお断りする。

日 時：平成19(2007)年9月8日(土) 10:00～14:30

場 所：愛知県芸術文化センターアートスペースC

出席者(敬称略)：池上英雄，大林治夫，金子修，
高村秀一，西原功修，藤田順治

司 会：西川恭治

【出席者に関する注：当初この座談会に出席を予定していた佐藤徳芳，田中茂利の両氏は、折からの台風の影響で参加いただけなかった。】

【共同利用研の生立ちについて】

西川：それではさっそく始めたいと思います。なぜこのようなテーマを採り上げたかについてですが、日本の核融合プラズマ研究は、共同利用研究としてスタートし、発展してきたと思います。

戦後の崩壊し退廃した環境のなかで、基礎物理学がどのようにして育ってきたかを考えますと、戦後の民主化、自由主義の大きな流れのなかで、研究体制の民主化、研究者の自主性に基づいた研究体制が強くうたわれて作られたのが全国共同利用研究所です。湯川秀樹先生のノーベル賞受賞を記念して最初に基礎物理学研究所が1953年に作られて、その後、宇宙線研究所乗鞍観測所、東京大学原子核研究所、そして東大物性研究所が作られました。このような全国共同利用研究所という組織づくりの流れの中で、プラズマ物理学という学問が核融合研究と関連して始められました。そういう雰囲気のもと、プラズマの研究は全国の共同利用研究所を作って進めていこうということになりました。特にプラズマ物理学の場合には、最初からプラズマ物理の専門家がいたわけではありません。たとえば原子核物理、天体物理、核物理、電気工学、流体物理学、放電、統計物理の人など、いろんな分野の専門家が、核融合という魅力に、またプラズマという物質の第4の状態に惹かれてやってきました。それがプラズマ物理の始まりだと思います。分野の違う人たちが集まって研究を始めるとなると、共同利用研究が有効でした。プラズマ研究所の全国共同利用というのは当時非常に評判で、共同利用研究のお手本であると言われたくらいにうまく行ったと思うのです。装置としてはそんなに大きくなく、大型装置の共同利用という形ではなかったけれども、それをプラズマ研という共同利用研究所で行うというのは、学問の発展に有効でした。また、その運営も、全国の研究者自身が自主的民主



座談会全景

的に運営してきました。大学附置ではあったのですが、大学の評議会とは、実質的に独立した形で管理運営されていました。その中心であったのは運営委員会で、そのメンバーは、核融合懇談会という、プラズマ・核融合の研究者で構成された任意団体から選挙で選ばれたのです。しかも所内は半分以上。さらにその下に専門委員会を作りそのメンバーも選挙で選ばれました。その専門委員会において、喧々譁々議論して、研究テーマを公募し、応募してきたものを純粋に学問的立場から評価し採択して、それを共同利用研の研究のテーマとして採り上げていくという、非常に民主的・自主的な運営をして来ました。これが研究の成果を挙げる上で、非常に役立ったのですが、これは光の面を強調したわけで、光には必ず影があります。

実際にスタートしてみると、まず、一つの実験装置をいろいろな大学の人たちが、共同利用ですから、タイムシェアリングで使う。専門委員会が決める期間しか使えない。それが、次から次へと来ますと、装置を管理する所員は大変だったと思います。池上さん、そのあたり聞かせてもらえますか。

池上：装置の維持管理がそれほど大変だと感じたことはありません。



西川恭治氏

藤田：少なくとも初期の段階では、共同研究者が本当に所員と同じような感じでやってきて、泊まり込んで装置の維持もやってくれていました。

池上：というより、所員が少ないからそこまでできなかったという状況でした。技官は大分苦勞されたでしょうね。装置を共同で検討し、設計し、発注までの作業をしたのは所外の方が多かったですね。



池上英雄氏

西川：それはそうですね。しかし、あるテーマが済んで、次のテーマが始まるので、次の人が来るための、ちゃんとまた点検しておかなくてはならない。

池上：それはもう技官の人たちでしたね。技官の方は大変だったと思う。

大林：利用者も自分の装置だという意識が強かったと思う。

藤田：装置を共同利用するという意識はあまりなかったです。皆で一緒に作った装置だから。

池上：その辺は原子核研究所（「核研」）と大きく違うと思いますね。核研では、サイクロトロンのような大きな装置があって、それを次々に時間分配で使っていたと思う。プラズマ研の場合には、それを作ったグループ専用の装置として動いていましたからね。

大林：高山一男先生の言葉の中の一つに、「所員が少ないのを、共同研究者が補ってくれているという見方もある。」というのがありました。

西川：わりとプラズマ研の基礎実験の場合には、上手くいっていたのですね。でも、いろいろとコンプレインは聞きましたけど。

西原：大学から来て一緒に開発した頃には一体感があったが、その後、装置の維持が主になってくると、お世話をしている、ということになってきたのでしょうか？

池上：しかしそういう感じの状態になったという記憶はないのですね。

藤田：基礎実験では良かったのですが、大きな装置のときには、装置があって、専門委員会でテーマを決めて、というふうになってきたからね。TPDでも、テーマはかなり多かったから、技官の方が苦勞なされたことは事実だと思う。

【プラズマ研究所の歴史】

西川：それでは、プラズマ研が設立された経緯について、大林先生がいろいろと資料を調べてくださいましたので、それを聞きたいと思います。

《ここで、大林氏から、パワーポイントを使って説明があった。その要点は次のとおり。》

○ 共同利用研究所の生い立ち（アーカイブズによる概観）

1) 我が国における核融合研究の立ち上げ方策に関し、1950年代末になされたいわゆる「A・B論争」の結果、原子力

委員会核融合専門部会では、A計画を先行させることとした。その受け皿として、プラズマ科学の総合的研究育成を目的とするプラズマ研が、核融合懇談会および学術会議核融合特別委員会（融特委）での討議を経て、

1961年に設立された。



大林治夫氏

2) 形態としては名古屋大学附置

の共同利用研究所とし、「相互尊重・相互不干渉」の原則のもとに、全国の研究者による自主運営を実現するため

「運営委員会・専門委員会方式」を設定した。所外委員は核融合懇談会をベースに選出され、所内委員は研究者会議による。（所内は半数以下の構成）運営委員会は実質的に教授会の役割も果たす。

3) 規模は当初 7研究部門制で発足。その後年を追って、研究部門増設の他、客員研究部門、技術研究部門、各附属センター等、共同利用研究所としての新しい形の機能整備が図られた。

4) 教育は大学院のみとし、理学研究科物理学第2類（博士課程後期）の設置と、工学研究科の兼担を実施。

5) プラズマ研の歴史は、核融合研究の進展に対応して大凡次のように区分できる：

第1期（1961～1973）目的を持った基礎研究の育成、

第2期（1974～1980）プロジェクト的研究の試行、

第3期（1981～1989）巨大科学へ向けての模索。

6) 所内外の状況の変化：共同研究進展への適応を図る所内再編成、B計画実施のための科学技術庁関連の動き、大学センター群の設立、研究規模の拡大と多岐路線への対応、学審（文部省学術審議会）での議論。

7) 進展に伴って浮かび上がる問題点：共同利用研究所であるとともに中枢研究所としての性格、国際協力推進における窓口の役割、炉工学を含む新しい関連分野の包含、等。

8) 大学共同利用機関としての核融合科学研究所発足とプラズマ研究所の廃止（1989）。

【共同利用研究所の設立に関わる参考資料としては、参考資料[1 - 3]、また、プラズマ研究所の設立経緯については、参考資料[4, 5]参照。】

西川：非常によくまとめてくださって、ありがとうございました。

高村：大学連合という考え方がありますが、具体的な例というのはあったのですか？

大林：ここに出てくるのは、いくつかの大学の分室を作るというものとか、いろいろな形がありました。「大学共同利用機関」というのは、国立の一つのものができて、どの大学からも利用できるというものですが、そうではなくて、各大学に、それぞれ分室的なものを作って、それを寄せ集めていくという格好も考えられたのです。

高村：それは具体的にどこかにできてというのではなく、組織としてということですか？



高村秀一氏

大林：姿のない研究所という話も言われたところがありました。なぜそのようなことが考えられたかという、一番大きいのは、中枢的な組織をどこにどのように作るかという核研や後の素粒子研問題等に関連した議論の動きでした。プラズマ研の場合には、これらを横目では見ておきながら、一つの大学に付置してやるべきではないか、その方がまとまりとして良いという判断でした。大学側と融特委とが議論して、そのような線で引き受けられたのだと思います。

高村：最初の頃、国立研という考えはなかったのですか？

大林：国立研という話もありました。プラズマ研にまとまる前の議論は、国立のそういうものを作るか、原研をそういうものにしていくか、あるいは、大学に附置するかという、すべてが可能性としては採り上げられて議論されて、その結果、大学附置の形を推してきたというように読み取れるのですが。

【共同利用研の問題点】

西川：それでは、午前中はプラズマ研時代の共同研究の総括をして、午後、現在の、法人化の後の、共同利用研究所として、伝えるべきことを議論したいと思います。

池上：私が共同研究に積極的に携わったのは、プラズマ研の第1期、1961年から70年までです。70年以降は特殊な装置を持って研究を始めましたので、70年以前の共同研究とは研究のスタイルが大きく変わりました。その頃に強く感じたのは、任期制の問題ですね。研究所の寿命というもので、だいたい10年で来るものです。

プラズマ研の活動が1961年に始まって、最初の10年間で第1期の計画建設の種は出尽くしたという感じですね。極端なことを言うと、そこで所員を全部入れ替えなければ、停滞に向かうのではないかと思います。ですから、研究所を作るからには、任期制というものは避けられない。公務員に任期制というものを付けるわけにはいかないので、そこに非常な無理がありました。第1期で、研究所の寿命、10年というものが終わったと思います。大学に足を持たない研究所というものが、いかに再生していくか。古い人間がそのまま10年いたら停滞が始まります。その間に新しい学生が入ってきて、学生を教育していくことがないということは、研究所としては致命的なものだったと私は思います。

大林：教育は大事ですね。基本的だと思います。附置研にしたのは、その動きが残っていたのでしょうね。

西川：普通の大学附置の研究所というのは、学内共同利用研究所ですね。そういうのは、学生がいないと生き残れないのだけでも、全国共同利用研究所ですから、新しい空気が全国から入ってくる。

池上：とは言いましても、やはり自分が学生を抱えていると、もっと勉強しますから、基本的に何か大きく違うところがあるように思います。

西川：大学にいますと、学生はどんどん入ってくるけれども、やはりだんだん研究分野が狭まっていくことが多い。やはり外との交流には限界がある。全国共同利用研究所にいれば、いくらでも新しい情報が入ってくるが、その意味では、優れた研究者が共同利用研にいれば、どんどん新しい研究が生まれてくるのではないかという気がするのだけれども。そうならないとすれば、それは組織の問題なのですか？

池上：私が関係しているのは実験なのですが、自分が関わっている実験装置については、いろいろのことを考えるけれども、研究所として色々な共同研究者の出入りはあっても、自分の関連の研究を議論する人達は固定してしまう。

西川：共同研究といっても、固定した範囲の、特殊な仲良しクラブになってしまうわけですか。

藤田：共同研究で、確かに他の研究分野、関連分野、境界領域を、どんどん取り込めるという意味では良かったと思う。しかし、その分野の人を育てていくという意味では十分ではなかった。共同研究にきた先生のお弟子さんが来る、その学生さんを連れてくるというのは、割に狭い範囲に限られていたと思います。

西川：それは制度的な欠陥ですか？

高村：それは、学問的な成熟さが大きいと思います。どうい場合にも逃れられない部分があるのではないかと思います。それをさらに発展させるためには、最近言われている異分野融合をどれくらい本気になってやっていこうかというところがちょっと不十分だったかも知れない。

池上：皆さんも同じような感じがあると思うのですが、我々の研究のシステムというのは、だいたい10年で変わっていくと思います。10年で変わったときに、大学だったら、有能な助教授や助手、学生などが育ってくるとか、それに刺激を受け、引っ張られることが多いのではないかと思います。

西川：プラズマ研の職員は、すぐく恵まれていた。測定装置はふんだんにあったし、いろいろな人との交流もあったし、だからよその大学から、例えば助教授に來なさいと言われても、受けない。だから人事が停滞する。変な話だけれども、研究条件が恵まれていたために、固定化してしまった。

池上：あまりそのような話は聞いたことがないですね。

西川：前からそれは話していました。何でこんなに良いポストがあるのに行かないの？今やっている研究ができなくなる。



西原功修氏

西原：レーザー研にいますと、実験家が、世界有数の装置で実験ができる環境から出たかないのは理解できますね。プラズマ研の時代は、任期制がなかったわけですから、なおさらだったと思います。現在は任期制が可能になっていますが、優秀な人材を集めるためには、デニアトラックが可能な任期制が重要と思います。

我々のような大学附置の全国共同研究センターでも、大学院との関係については、いろいろと悩むことがあります。また努力をしなければよい関係が築けませんが、教育に携わることは非常に重要と思っています。

藤田：新しい人材についてですが、一つは研究環境が非常に恵まれていた。また、かなり大きな予算が来て、自分の研究を進めようと思ったら、かなりのことができた。しかし、外に対して、ここではこんなにすごい研究ができるのだよ、こんなにおもしろい研究なのだよということを皆に伝える努力が足りなかったのではないかという反省があります。核融合の研究は息の長い研究ですから、今のことだけ、という意識を変えなくてはならないです。一つは研究環境が良すぎた、忙し過ぎた、ということが絡んで、狭くなりすぎたかなという気がします。

金子：今、研究環境が良すぎて、という話がありましたが、私がプラズマ研に就職したのは、ちょうど第2期。その時、「あなたの目の前にある装置は、これはあなたのものではありません。勝手に使ってはいけません。」と言われました。その意味では、6公4民という言葉があり、まずは奉仕しなさい。夜の時間に自分の研究をやっても良い。所員から研究者としてのモチベーションを取ってしまった。プラズマ研の頃は、自分の研究計画を共同研究者の一員として、専門委員会に応募して、認められて予算をとらないとできなかったです。

西川：それはある程度いいことではないですか。

金子：「良いこと」という意味と、「自由さ」という意味と、違うのではないのでしょうか。所内的なプログラムがあって、その中では所員の裁量で研究ができるという。それが小さな研究計画なら良いのですが、プロジェクトのなかでは、難しかったのではないのでしょうか。

池上：そういう意味では、大林先生のご説明はよくまとめてくださってあり、第1期というのは、共同利用研究というのが魅力的な時期であった。第2期になると、その魅力というものが無くなって、外部に台頭するミラーとか、レーザーとか、大型閉じ込め装置とか、競争しなくてはならなくなる。対等な大型装置が大学にも設置された結果、プラズマ研は共同利用研究所という名前を持っていられるけれども、それ自身の魅力がどこにあるのかということになり、その共同利用研究所の利用価値、意義が消えてしまったのです。

大林：それでいて、中枢研究所であるという役割を果たさなくてはならないという話が出てくる。そのために話が難しくなってくる。

池上：プラズマ研の第3期というのは、老齢化して、よたよたの段階でしたね。

西川：それは競争に負けたということではないのでしょうか。大学でも、やりたいことはあっても、諦めたということはいくらでもあります。

西原：私が専門委員だったのは、第2期に入って間もなくの頃だと思いますが、そのころのプラズマ研の研究者は、他の大学の研究者と同じく共同研究に応募しなくては自分の研究が出来ないし、なおかつ6公4民で共同研究に来られる方の世話をしなくてはならないという立場で、必ずしも、良い研究環境ではないと感じました。自分たちが、イニシアチブを取って、自分たちで決めることができる部分をまったく含んでいない制度が良くなかったと思う。

池上：周辺の研究環境が変わっていくとき、それに順応できなかった。やはり初めに決められた軌道をそのまま走っていた。だから、共同利用研究機関が研究所としての魅力を維持するためには、プラズマ研の経過というのが良い例で、繰り返すようですが、外部環境の変化への対応と人事交流が当然のことながら決定的に重要です。

西川：どちらかという、基礎研究の段階ではうまくいった。プロジェクトが出てくると、共同利用の体制というのは、むしろお荷物になってくるのでしょうかね。

池上：その辺のところは如何すればよかったのですかね。

西原：研究所の中に、中枢研究所としての独自の研究を行う部分と、共同研究を行う部分とを共存できる仕組みがあれば良かったのではないのでしょうか。

【大学の研究計画への影響】

西川：視点を変えて、全国共同利用研究所という型の研究所ができた。プラズマ研究所、それは、全国大学の中核機関である。初めからそういうつもりで作っている。そうすると、プラズマ核融合分野の予算をどうするかということを決める時に、プラズマ研が窓口になりますね。国際交流をやるにしても、そこを通じて予算が、ということになりますね。

池上：プラズマ研を通してというよりも、学術審議会の核融合部会で議論するので、プラズマ研が他所の大学の予算を議論するということはなかったです。

大林：60年代の初めの頃の調査報告を学術会議がまとめている。それにいろんな人の意見が集められており、プラズマ研ができて、良かった点と悪かった点について、みんなからアンケートをとっています。64年から65年頃です。プラズマ研ができて2〜3年経ったころです。何が一番良かったかということ、連絡が良くなった、情報が良く伝わるようになった、というのが多い。一方、自分のところから出した予算が、コンフリクトしてダメになったというものはないわけではない。プラズマ研ができてお金が回ってこなくなったという人もいます。

西川：それはあります。なんでプラズマ研につけなくてはならないのですかと聞かれますからね。

西原：プラズマ研が出来たため予算が獲得しにくくなったとの話がありましたが、1980年から始まった科研費の核融合特別研究は、研究を進める上において、お金の面だけではなくて、ネットワークを作るとか、研究者間の交流においても非常に有効であったと思います。

池上：核融合特別研究では、基本的に、プラズマ研の応募は受け入れない方針でした。

大林：特別研究は新しい分野が広がっていくのには、よく対応したのではないですか。それまでは何も知らなかったところ同士が、核融合を通して結びついていく。炉工学なんかは非常に大きい。

西原：科研費の特別研究のような予算の別枠があることが、共同利用研を盛り立て、若い人が参入できる機会を提供し、その分野を活性化させるために重要ではないかと思えます。

藤田：情報という意味では非常に良かった。計測の例では、プラズマ研の中だけの計測ではなく、いろんな分野の人たちを含めて、ネットワーク的なものができ、なおかつお金が行き、「それでは大きな装置でやってみようか！」という、そういう雰囲気も生まれました。所外の人たちだけでなく、中の人にとってもプラスになったはずですね。

西川：核融合部会が動いたのも、科研費の特別研究が動いたのも、プラズマ物理のコミュニティを取りまとめる共同利用研究所という原点があって、そこが成果を挙げているということがあったから動いたのではないのでしょうか。他所の分野はものすごく羨ましがっていた。なんで核融合ばかりやるのというので、その反動があるわけです。あれだけ手当てをしたのだからとみんな冷ややかになった。それはやはりプラズマ研の存在が大きかったのではないのでしょうか。

池上：冷ややかな状況は今日でも変わりません。核融合研究全体に対する風当たりですね。特にプラズマ研に対してというよりも、時代の流れ、環境の変化ではなかったかと思えます。

藤田：確かに核融合・プラズマコミュニティの存在が大きかったですね。他所の分野に比べたら、核融合はまとまっていきました。見かけ上は、ある先生と別の先生とが、ということがあったとしても、トータルで見るときには、まとまっていたと思います。また、プラズマ研で良い成果が出たから、というよりも、プラズマ研という存在が、そういうコミュニティをいろいろな意味でまとめるという役割をしてきたことは事実ですね。

池上：これらの議論を単なるアーカイブズとしないためには、現在の核融合研という共同利用研究機関で、将来、核融合の研究を発展させるために、10年くらい何がどのように動いているだろうか、大学の研究をはじめ、原研とか、ITERとかを見て、研究の発展に最善の道をとるための参考に生かして欲しいです。

西川：これが、まさに後半のテーマです。大阪大学のレーザーでも、大事なのです。

【核融合科学研究所における共同研究について】

西川：それでは核融合研の共同研究について、共同研究委員の金子さんに、最近の状況をお話ししていただきたいと思います。



金子修氏

金子：これは、核融合研が毎年行っている外部評価の一環として共同利用・共同研究に関して実施した時の評価報告書です。39ページに、これからどうすべきかという評価委員の我々に対するコメントがまとめられています。後半の部分は、外部評価委員会に、研究所から報告書という形で出ささせていただいたものです。これが現在の共同利用共同研究の現状を

説明したものです。2年前ではありますが、基本的な考え方はそれほど変わっていませんので、それを見ていただくと、今どんな形で共同利用・共同研究が行われているかわかると思えます。[6]

中期計画の毎年の評価は業務に関する評価であり、研究の評価は5年目にしかやらないのですが、研究所独自で毎年研究について外部評価を行っています。17(2005)年度は、共同利用・共同研究ということで行いました。現在の共同利用・共同研究はプラズマ研時代の形式を引き継いでいる部分と、新しいものがあります。プラズマ研でやっていた共同研究は「一般共同研究」という名前で引き継がれました。平成8(1996)年度には「LHD計画共同研究」が新たに始まりました。平成16(2004)年度には「双方向型共同研究」が始まりました。予算規模は、一般共同研究が、1件当たり数十万円程度の規模、LHD計画が数百万円程度。双方向型が数千万円規模です。一般共同研究につきましては、当初は装置がありませんでしたので工学的な開発課題が多く、これが共同研究にかなりの広がりをもたらしました。先ほどの大林先生のお話で、プラズマ研では100件程度だった共同研究課題数が、現在一般共同研究は300件程度あります。その意味では共同研究の範囲が広がったと言えます。LHD計画共同研究は、各大学が、より大きな予算を使って装置を開発して、LHDに持ち込むという、共同研究としては新しい形のもです。

西川：今、LHD計画共同研究は、どのくらいの件数ですか？

金子：今年度は37件です。

西川：LHDのために、大学が装置を作りたいというとき、その費用は出せるのですか？

金子：複数年度で公募するという事になっています。一般共同研究では、継続は認められるものの単年度の研究ですから、そこが違うところです。プラズマ研時代にはなかったものとして、一つはスーパーコンピュータですが、これは、プラズマ研時代の汎用コンピュータと同じような形で、無償で利用できます。ただし、必要な計算時間が大き

なものですし、使う上で、技術が要るものですから、所内で委員会を作って、本当にスーパーコンピュータを使う意味があるかどうか検討して、使っていただいています。また実験手法の新しい方式としては、スーパーサイネットを使ったもので、遠隔で実験に参加できるものです。

西川：これはもう始まっているのですか？

金子：はい、始まっています。たとえば九州大学からLHDについている測定装置を遠隔で制御しデータを取得しています。

西川：いつごろから始まったのですか？

金子：3年ほど前からです。これは、国立情報学研究所のおかげで高速なネットワークが整備されました。それから、高村先生なども非常に強く主張されたことなのですが、核融合研に核融合関係の研究者が集まっている。この人的リソースを大学に提供しようということで、平成15年から、一般共同研究の中に、相互交流型というカテゴリーを設けました。これは所内の人間が、大学に出かけて行って、そこで共同研究をするというものです。所員が共同研究で出張するのは旅費の関係で非常に難しいものだったのですが、事務方も苦勞して、こういうものがスタートしました。その後幸いにして法人化され、縛りが緩やかになったので、引き続き行っております。講義やセミナーなんかをやっているのではなくて、本当にそこで実験をやります。

西川：研究指導もやっているのですか？

高村：学位取得に関わる指導などもやっているのではないですか。

金子：その後、双方向ということが、キーワードになって、新しく双方向型共同研究が立ち上がりました。

西川：プロジェクト間、ですね。

金子：そうです。これは現在、筑波、京都、大阪、九州の4つの大学附置センターと実施しておりますが、予算的には、それぞれのセンターがもらっていた予算の一部を核融合研に集約して、大学の核融合研究を発展させる重要研究課題に再配分する、ということで双方向型共同研究がその場となりました。したがって双方向型共同研究は大学における核融合研究のあり方を議論する場にもなっています。科学技術・学術審議会学術分科会基本問題特別委員会核融合研究ワーキンググループが出した報告書「今後の我が国の核融合研究のあり方について」がガイドラインになっています。双方向型共同研究により各センターの装置が共同利用・共同研究の対象になり他の大学から研究者を受け入れて共同研究を行うことができるようになりました。その結果、共同研究の中身についても、最初の頃と比べて、かなりカテゴリーが増え、件数も全てのカテゴリーを合わせると本年度は400件と、かなり増えています。組織としては、運営会議の下に共同研究委員会があり、委員は所外と所内に分けて、所外が半数以上になるようにしています。

西川：メンバーは、何処で選ぶのですか？

金子：分野や地理的なバランスを考慮し、また核融合ネットワークの意見等も尊重して、所長が決めています。

西川：たとえば、大阪大学レーザー研究所が、核融合研究にこれだけの予算が欲しいと考えると、それをどこに要求するのですか？

金子：双方向型共同研究委員会に出します。その中で議論しています。

西川：その委員会というのは、四つの研究機関の代表と、所長ですか？

金子：いいえ。共同研究委員会の一つで、委員長と、所内と所外の委員で構成されています。四つの研究機関以外にも含まれていて、そういう方たちの厳しい意見も出ています。

藤田：今までなかった仕組みですね。

金子：その意味では、逆に双方向型共同研究委員会というのは、責任はかなり重く、今、委員長は九州大学の吉田直亮先生がやられていますが、かなりシビアな議論をしています。

西原：センターが供出した原資を、どう運営するのかという議論をするわけですが、原資を超える額は？

金子：双方向型共同研究予算は毎年概算要求して、昨年度（2006年度）は5,000万円ほど増額していただきました。この双方向型共同研究は、文部科学省では、新しい方式として注目しています。核融合分野が先行していますが、ぜひ成功させてほしいということですから、いい加減なことはいけません。

池上：どうして双方向型と言うのですか？

金子：今までは、大学やセンターから研究者が核融合研に来て共同研究を実施するというのが基本でした。ただ、先程の相互交流型では大学の小さな装置に、核融合研の人が出かけて行くという形を可能にしました。それとは別に核融合研とセンターとが、協定を結んで、予算を渡しそれぞれのセンターと、核融合研との共同研究を、センターを核として広げるという、そういうシステムを作り上げました。そこに双方向性がでてくると言うのでこのように名付けられたのだと思います。

高村：私は、もともと「双方向型」と申し上げたときには今説明された相互交流型をイメージしたのですが、それが違った形で使われているのは私としては必ずしも本意ではない。本来は、核融合研から、今度は大学にも来て、その大学の研究をより立てるとするのが非常に重要。そういう意味で、私のイメージする双方向型は、重要です。ただ、大学を含め、研究施設を重点化すべきとの学審の報告が出たものですから、その中で、センター群だけが双方向型の研究システムに位置づけられてしまっている。経緯的にはそういうところがあるのですね。ですから本来ならば、大学全般にわたって、双方向利用型の研究に、もっと力を入れてほしい、というのが私の希望です。

西原：双方向が、核融合研と限られたところだけを対象にしているのは、本当は問題ですね。ただ、レーザー研との双方向では、核融合研の超伝導グループの人が、レーザー核融合のクライオジェニックターゲットを作るという実績を上げている。

池上：この双方向型共同研究というシステムは1980年代のプラズマ研にはなかったものですね。この結果、何が改良されたか、または改善しようと思ったか、これをやった結果、どんなメリットがあり、どんなデメリットがあるのでしょうかね。

西川：これは、核融合予算の一本化ではないの？

金子：一本化とともに、大学の中の核融合研究を重点化し共同利用、共同研究を活性化して、新たな可能性への挑戦の機会を生み出せるような仕組みがほしい。そのためになにか考えなくていけない。それが双方向型というふうに、位置づけられたのだと思います。

高村：それはそうなのですけども、ここには、何もセンターということは、一言も出ていません。センターもそうかもしれないけれども、本来ならば、むしろそれ以外の所が、新しいアイディアを出せるということが重要であって、それが実質入っていない。

金子：双方向型共同研究委員会の中ではセンター以外から新しいアイディアを取り込むことも議論してきています。ただし双方向型共同研究で想定している新規課題は年間1億円規模のものでありますから、新しいアイディアが出されたらそれを推進する組織を必要とします。今、大学の中で現センター規模の新センターを核融合分野で作るのは難しいと思います。そこで双方向型共同研究委員会では、たとえば現センターのインフラと人的資源を活かす形で新しいアイディアを提案者がセンターに乗り込んでいって行っているのか、などドラスチックな考えも出ています。センターの位置づけというのは、それぞれの大学が決めていますのでそう簡単にはいきませんが、新しい展開は常に意識して議論を続けています。

【コミュニティとの関わり方について】

西川：ある時期から、核融合というのは、守りの姿勢に入っている。できたものを何とか守りたい。新しいものを作るというよりも、既存のものを守るためのように。

金子：どうしてもそのように捉えられてしまうのです。そこをなんとかしたいと思っているのですが、センターの大学内に於ける位置づけもありますし様々な事情がある中で変わる努力をしています。

西川：核融合研を作るときから、そのような雰囲気はあったのですよ。ヘリオトロンもやる、GAMMA-10もやる、激光、金剛計画もやると言ったら、「全部共倒れ」と言われました。それで重点化ということになった。そして、核融合研に一本化ということになった。

西原：トップの特定の方が集まり努力されているようですが、コミュニティの意見として集約する場が、最近は、なくなっているのでは？

藤田：その意味では、昔は核融合懇談会があって、実際に研究者たち間の意志の疎通が本当によかったと思う。双方向にしても、既存のセンターを守るということではなく、コミュニティの意見を吸い上げていけば、この理念は生き

ていく。そういうチャンネルがあるかどうかということですよ。

西川：研究の予算規模が大きくなってきたら仕方がないです。初期の第1期のように研究規模が小さかった時は、研究者がワイワイやって、みんなうまくやっていくことができるかもしれないけれども、こんな大きな予算を使うようになったら、それは難しい。

金子：双方向型で、新しいものを立ち上げようとして、1億円の装置を作ろうとすると、1億というのは予算的なハードルとして既に高いものです。新規要求を立ち上げることはそう簡単ではない。それで、今は既設のセンターが対象になっているということです。ただし今までどおりでは単なるセンターの延命なので、センターの中味、考え方を変えてもらう必要があります。

西川：それはコミュニティの問題ですね。

金子：どうやって、コミュニティの意見を吸い上げるかということは重要です。双方向型共同研究委員にはセンター長だけではなくて、それぞれの大学の何人かの先生方を、分野を見て選んでいますので、ご意見を聞きながら進めています。

高村：その辺の透明性がどのように確保されているのかが見えない。核融合研は委員長を外部の人に委嘱するなどの努力をされていると思うのですが、我々外から見ると、何を議論されているのかわかりにくい。先ほど言われた、意見を吸い上げる場として、ネットワークがありますね。ネットワークの場で、そういうものやはり大々的に、それに絞って議論するとか、そういう努力が不足しているのかなあという気がします。

西川：むしろコミュニティの側の問題。やはり大きな動きというのは仕方ないでしょ。

高村：文部科学省としても、「重点化」の対象ではない大型装置はすべて止めると言う方針だ、と聞いている。そのなかでどうやって生き残るかということで、やむを得ない点もある。

藤田：本当はセンターが今までやったこと、やりたいことを続けたいのだけれども、そればかりを主張するのではなく、周りの人達と一緒にあって、新しいものを、そのセンターという場を利用して、装置を利用して、こういったところに持ち込むというのが、現実的ななあという気がします。

西川：その意味では、阪大レーザー研は、今やりつつあるところですね。

池上：先ほど出てきたプラズマ研の第2期で、たくさんの装置がありましたね。専門委員会では相当激しい議論をしました。「なんだ、その実験は！」とか、「どんなデータが出ているのか、何が新しい？」とか。組織と装置の規模が大きくなるけれども、やはり核融合のコミュニティでも、現在動いているいくつかのセンターに対して、前のプラズマ研の専門委員会で行ったと同じようなドラスチックな議論を闘わすことができれば良いですね。そうすれば、高村先生がおっしゃったような話がなくなると思うのです。それをやったら予算が削られるとか、元も子もなくなるとか、そんな恐れもあるのでしょうけれども、その辺は、や

はり核融合研としてはそれを取り仕切る責任があるのではないでしょうか。

西川：池上先生には申し訳ないのだけれども、それをやった結果、プラズマ研が、あの結論になったのではないの？

池上：いや、だから、それをやった結果、核融合研ができたことが、次の発展だったと思えば、それは悪いことではない。

西川：そう思えばよい。非常に前向きな話で、それでよいのではないのでしょうか。

藤田：若い人全般の傾向として、先ほど池上先生が紹介されたような、研究の進め方などの議論をするという雰囲気はなくなって、なんとなく冷めたという感がします。

西川：今藤田先生が言われた話は、大学紛争以降の一般的な傾向ですね。

高村：自由研究と、プロジェクト研究とをどう進めていくか、本当に難しい面があります。しかし、核融合研ではLHDという大きなプロジェクトがあるから自由なことができない、とは思えません。私なんか、よく話題にするのですが、原子力機構では、もっとプロジェクト的なJT-60でも、若い人たちの眼とかいうか、のびのびしていて、いろいろなことを自由に発言しているような印象を受ける。そういうものをできるだけ大切にするようにしてもらいたい。しかし、プロジェクトは大切で切り分けは難しいのだけれども、その努力が必要です。

金子：プロジェクトだからできない、ということはないと思います。

西川：たとえばLHDで、こういう実験をやりたいと、いう話は、自由にできるでしょう。

金子：できます。ディスカッションして、与えられたマシンタイムは少ないけれども、その中でどう実験するかは議論しています。その成果自身も彼らが中心になって論文にしています。

高村：外部の人も入っていますね。そういった点は、いいのですけれどもね。

共同研究に戻りますが、核融合研では、自然科学研究機構の中で、機構内連携という形で始まっている分野間連携がどの様に新しい展開をするのかを非常に注目しています。核融合研の中で、この形態を非常に新しい考え方として私は高く評価しています。いまはまだ少ないでしょうけれども、もっと増やしていくと聞いています。いわゆる核融合だけではなくて、いろいろな、放電とか新しい領域をそこに積極的に取り入れる仕組みをやりつつあるので、プラズマ研の時にはあまりなかったものとして評価したい。

西原：プラズマ物理の黎明期のように、いろいろな人がやってきて、新しい学問を作ることができれば良いと思いますが、一方では、現在のレーザー研のように、先が見えなくなるという恐れがあります。ITER時代を迎えて、ますます他分野との共同研究や知の循環が重要ですが、どの程度のバランスをもってやるかは、永遠の課題として残っている。

西川：核融合研ではよくまとめて下さっていると思います。シミュレーション科学なんていうのは、まさに、黎明期の

様に、いろいろな分野が絡み合って、これは非常に活発でよい。レーザー研の場合は、スタッフに共同研究の経験が少ないために心配しています。

西原：構成メンバーが、レーザー核融合研究のコアの部分を常に考えていかななくてはならないと思います。

西川：プロジェクトというものの立場ややり方を全然理解していない人が、共同研究にだんだん入ってくると、大きな問題になると思います。

西原：まず共同研究自体が、プラズマ研の黎明期のように、一緒になって装置を開発する所までに育たないと新しい学問は生まれないでしょうね。それとともに、核融合という長期的なコアをさらに発展させないと、共同研究だけでは、プラズマ研の第2期以降のような問題がでてくる。

高村：レーザー研の場合には、確かにその辺が大きな問題かなと私も思うし、わかるのですが、核融合研の場合には、結果的には切り分けてというか、核融合が研究所の中の活動として、うまくいっている可能性がある。

西原：核融合研の話に戻ると、将来ITERとの関係がどうしても重要になる。

金子：BA（ITER計画と関連して実施することになったBroader Approach計画）にしても、核融合研が大学の窓口になるのは当然かなと、考えています。LHDも、実験を開始してからもう10年経ちました。池上先生のお話で行くと、建設20年で賞味期限。シナリオはありますけれども、そう長く続けられない。となると、その先をどうするのか、まさに議論がこれからです。

高村：それが私もまた不満で、いわゆる将来計画というのを議論する雰囲気が閉ざされてしまっているように感じられる。プラズマ研の場合も、毎年、それなりにやっていたということもありますが、核融合研で将来計画というのを私が手伝っていたときも、十分に議論することがやられてこなかった。

金子：法人化になって、中期計画を6年毎に出していかななくてはならない。将来計画を当然考えないと、次の6年をどうするかが見えてこない。

藤田：コミュニティの話以前に、研究所の中でも、必ず現在動いている計画の次のことを考えなくてはならない。だけど、そのことを議論するというのが、考えようによっては、今やっている計画に対する批判、ダメだから次を考えていると受け取られる恐れがある。

金子：LHDよりも大きな装置が土岐のキャンパスでできるとはとても思えません。ではどういう方向に進むのか、核融合研である限り、核融合研究の流れ、ITER時代に私たち大学がどういう貢献をしていくのか、方向づけをしていかないといけません。コミュニティを含めて合意が要ります。

西原：高村先生の言われたネットワークと、将来計画をコミュニティとして議論するという場としての学会はどういう関係でしょうか？

高村：一応独立ですね。

西川：学会とネットワークと、どっちがコミュニティなのですか？

高村：コミュニティというのは、それら全体を包含したものなのでしょうね。ネットワークは、もともとは学術、文部省サイドで、スタートは飯吉厚夫先生が総合研究でやられた。そこで、プラズマ、核融合全体をネットワーク化しようということになった。いろんな分野でネットワークが重要である。そういうことで核融合でも「核融合科学」、「炉工学」と「プラズマ科学」のネットワークがつくられた。その中で実質的にメンバーを決めて、情報交換とか人材育成に関する議論とか、将来計画に関する情報を流していこうということで、現在は、核融合研の共同研究委員会のメンバーを選んだり、LHD計画共同研究の選定にも関わっています。そういう形で比較的核融合研とは関わりは強いです。学会とネットワークとは、直接の関係はないけれども、場合によっては共同でシンポジウムをやるとか、そういうことは原理的に可能です。

西川：ネットワークというのは、限定されたメンバーの間で、ネット上で意見を交換するためのメイリングリストではないのですか。

高村：メンバーを同定しようということもやったのですが、非常に難しくできませんでした。昔の懇談会メンバーは学術会議の会員を選ぶための選挙人（有権者）のことであって、きちんと定義されていた。

大林：学術会議の選挙制度が変わった後も、プラズマ研の委員会選挙用の名簿は作っていた。

高村：そういう名簿を作りましょうという、難しい。やはり、コミュニティというのが、‘diffused boundary’なのですね。そこをどうやって、定義してゆくか、そこを何回も考えたことがあるんですけども、実際には自己申告みたいなことにせざるを得なかった。

西川：今、核融合研で管理しているのですか？

高村：核融合科学ネットワークは、小川雄一先生と、武藤敬先生。そういうメールの発信とか、お世話は核融合研がやってくださっている。そこには一応原子力機構とか、そういう人たちも正式メンバーかオブザーバーかに入って、情報の交換ができるようになっている。

西原：学会は任意だけれども、もう一つはトップダウンで官制の気がします。

藤田：学会の企画委員会に、学会としてネットワークをどういうふうを活用するか、どう関わりあうべきか、そういう議論をしてもらいたい。

西川：確かにプロジェクトを進める時に、共同研究は非常に注意してやっていかなくてはならない点が多いけれども、いろいろな研究者の意見を聴取する場を作るというのは、大切なことだと思います。情報をオープンにして、共有する。

高村：そういう意味で、核融合研の将来計画といった場合、学会が直にというのは、やや違和感がありますよね。議論の場を提供するのは大変望ましい。ネットワークが、そういうのを企画するというのは良い。

大林：学会側から見ると、例えばプラズマ研用の選挙名簿というのは、本来懇談会自身の名簿に基づいた形になっていて、研究所の将来計画等の議論は、コミュニティに直結

したものとして認識されてきました。今はそのつながりがどうなっているのかよく分からない。

金子：コミュニティの方々が、核融合研がどうあってほしいか、ということをお我々は聞かないといけませんが、一方でプロジェクトが先頭を切って走っており、その成果を問われます。将来計画を考えるときには、そこも含めて意見をお聞きしないと、勝手にはできないかなと思います。

西川：勝手にできないことはないけれども、聞くことによって良いものができる。

藤田：どういう意見を取り入れて、どう決めるかというのは、当事者の責任。少なくとも皆がどう考えているかということは、知っておく必要がある。コミュニティに支えられないとダメです。

【ITER時代への対応について】

池上：気になっていることの一つに、核融合コミュニティということで考えているのですが、核融合研も法人化して、ある意味では、堅くなったところがあると思います。ITERが原子力機構だけのものではなくて、日本の大学関係も取り込まれていく、そうならなくてはならないと思うのですが、もう少し原子力機構との共同研究とは言えないまでも、研究の連携に力を入れるようにしたらどうでしょう。

金子：LHDの研究テーマグループが13あるのですが、そのうち二つは原子力機構の方にリーダーをやっている。また、JT-60Uの6つの研究サブテーマの内、2つに核融合研から共同サブテーマリーダーとして参加している。実際のプラズマ実験研究の場では、やっています。

池上：ITERが動き出したときに、大学の研究者の1本釣りのようなことをされるよりは、やはり、核融合研が、それに対応できる体制を作っておくべきです。

西川：それはおっしゃるとおりだと思います。

西原：人材育成も含めITERが動き出す次の段階を見据えて、核融合研だけの問題ではなくて、日本全体として考えなくてはならない。

池上：今後の核融合研究は良くも悪くも、ITER中心に動くということは見えている。そうすると、次の計画では何をすべきかということが出てくる。

高村：池上先生の言われるとおりです。ITERの存在は大きいですね。核融合研としてどう向き合うかということで、核融合研としては、ITER連携研究部門というのを作っているのですが、私から見ると、やや消極的な点が残念なのです。私の個人的な意見としては、やはり核融合研としても、ITERにかなり貢献してほしい。ただしその場合、あくまでも学術的な、プロジェクトなのだけれども、それを支える学術の立場から、参画してほしいと思っている。そういう希望があります。核融合研が原子力機構と全く同じようなことやっていると、存在意義がなくなってしまう。その中で、核融合研が、どういうスタンスで立ち向かっていくかという点についてはみんなで知恵を絞らなくてはならない。共同研究も、やっていますし、相互に乗り入れて、や

ってものですね。そういう成果が挙がっている中で、核融合研のミッションはあくまで学術。それを前面に出して、原子力機構とは違うんだけど、ITERに貢献する、ということを出せるかが大切です。

西川：その辺のことは、本島修さんは、頭の中ではよくわかっていますね。実際にどのようにやるかということですね。

高村：共同研究ということで、共同研究の中心は核融合研ですけども、今までもやってこられたと思うのですが、より一層、学術を重視して共同研究をやってほしい。

池上：先ほども申し上げましたけれども、プラズマ研の30年間で良く検討して、その良い点、悪い点をぜひ今後に活かして頂きたい。

西原：ITER時代、BA時代に、大学、共同利用研、原子力機構が、またそれらの関係について、今こそ、ネットワークと学会を含めて、議論が自由にできる場を構築しなければならぬ。

大林：やはり昔の失敗も含めて、全体が大事なデータベースとしての財産なので、ちゃんとした形で伝えていくということが、我々の責任で、学会がそれを受け止めていくことが必要です。50年の一つの節目ですからね。

藤田：やはり共同研究、あるいは共同利用、そういったことの意味をよく考えて、いろいろな形態の共同研究がある、いろんな意味がある、大林先生が言われたように、まさに、温故知新、将来に活かしていただきたいなと思います。

高村：一つだけ全くここで触れられなかったことですが、実は原子力機構も共同研究、核融合研の共同研究とは若干位置づけが違いますが、というのをここ数年前からやり始めていて、そこの共同研究と核融合研の共同研究というのは、両方が走るような時代になっていて、共同研究としては、そこも含まれる、ということ。

大林：先にも言いましたが、最初に原子力研究所を共同利用研として位置づけるという話のもととあった。最初考えた共同利用研究所の範囲の中にちゃんと勘定をしてある。それが、だんだんそうでなくなってしまったのは、なんとも残念です。

高村：それが今リバイバルしている。もう始まっています。

西川：最近、やたらと次から次に共同利用という話が出てきている。どうも実体は、我々の共同利用研という感じで、原研の共同利用というのは良く知らないですけども、だから、その辺が、物研連にいたころ、かなり問題になったんです。だけどやはり本当に物理屋として見ると、日本で考え出して作り出した共同利用研形式。基研、プラズマ研、物性研が非常に基礎的な学問の進展に大きな役割を果たした。それをもっと大切にしたい。という意見が強く出されて、それが学術会議の提言になっている。ただ、それは、プラズマ研の経験からいくと、最初の第1期止まりって感じですかね。

大林：それぞれに、ある限界があるということを考えていかなければならないと思います。

西川：最近の核融合研の話を聞いていると、やはりプロジェクトを抱えながら、全国の共同利用研究所として、いろいろな分野を採り入れて、新しい挑戦をしようという努力がやられているので、非常に明るい気持ちです。むしろ心配なのは、レーザー研究所の方です。あの人数でやるのだからね。

それではどうもありがとうございました。

参考資料一覧：

- [1] プラズマ研究所の性格、組織等(早川幸男)
ID：301-11-06
- [2] 中央研究機関に関する意見
ID：301-05
- [3] 大学連合の研究組織について(早川幸男)
核融合研究 Vol.4, pp.583-593, 1960
- [4] プラズマ研究所の運営：総合研究大学院大学、共同研究機関の歴史とアーカイブズ2004, pp.62-68 (2004) (大林治夫)
- [5] 日本の核融合研究体制とその変遷 (大林治夫)
ID：163-39
- [6] 平成17年度外部評価報告書 (核融合科学研究所)
(http://www.nifs.ac.jp/hyokarep/gaibuhyouka_17.pdf)
【ID番号は、核融合科学研究所アーカイブ室における史料番号。これらの資料については核融合科学研究所アーカイブ室にお問い合わせ下さい。】

【当初予定されたにもかかわらず、座談会にご参加いただけなかった田中茂利氏から、発言予定の内容が文書で寄せられた。】

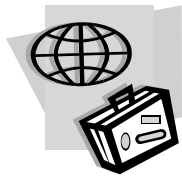
プラズマ研究所、初期の基礎実験部門の共同研究

田中茂利

プラズマ研発足の折、基礎実験部門の研究計画は高山一男先生の作業グループで議論された。先生は3軸構想を提案された。それは(1)研究目的に合った静かなプラズマをつくり、(2)プラズマの基礎的現象を解明する。(3)そのために必要な新しい計測法を開発するという3軸です。このTP計画に沿って、TP1、2(放電拡散型プラズマ)、TPC(セシウム熱電離プラズマ)、TPD(直流放電による高密度プラズマ)、及びTPM(マイクロ波放電による相対論的プラズマ)の装置が設置、実験されて成果を挙げた。

このように初期には所内外の共同研究者が装置を建設し研究を行った。後にはさらに他分野の研究者も加わって初期には想定し得なかった方面にも研究分野が広がったのは共同研究の利点と長所であった。そしてこれらがベースとなつて、プラズマ研内外の大学の次の研究計画へと発展していった。これは初期の計画と運用が適切で、共同研究を進めた成果だと思う。

現在、研究環境は往時と異なっているが、原子力機構も合流した共同研究がなお一層必要かつ有効であろう。そしてITER計画の進展に対して国内体制を整えて日本がリーダーシップをとって研究を進めて頂きたいと期待するものです。



「核融合の歴史を遺す座談会」

—核融合研究と国際交流—

この記事は、核融合研究の50周年を記念して企画した一連の座談会のうち「核融合研究と国際交流」に関する記録である。座談会を始めるにあたり、松田慎三郎会長と藤田順治（「核融合の歴史を遺す座談会」小委員会委員長）から、この座談会の趣旨および経緯などについて説明があった。座談会は、長時間に亘って行われたため、その記録は膨大となり、また、参加者からは配布資料による説明がなされたケースもあった。紙面の都合上、配付資料を含め、担当委員の責任において割愛した箇所も多かったことをお断りする。

日 時：平成20（2008）年4月18日（金）13：30～17：30

場 所：日本原子力研究開発機構東京事務所

出席者（敬称略）：石野 栗，市川芳彦，狐崎晶雄，
住田健二，田中和夫，苫米地顕，松田慎三郎，宮原 昭，
難波忠清

司 会：藤田順治

藤田：今回の座談会は「核融合研究と国際交流」を主題といたしました。私がプラズマ研究所にいたころ、宮原先生は確か船でヨーロッパにいらして、TEXTORをはじめ、中国との協力、日米協力などをやって来られて、いまなお国際交流、国際協力に尽力なさっていらっしゃいます。一体何が宮原先生を駆り立てたのであろうか、そういう熱意というものを、ぜひ若い人、これからの人に伝えたいと思います。そういう観点から、まずはファーストスピーカーとしてお願いいたします。

【TEXTOR国際交流事始め】

宮原：国際協力とか国際交流という意味では、核融合研究は1955年の第1回原子力平和利用国際会議（ジュネーブ会議）のバーバーの演説に始まって、1958年の第2回の会議でそれまで秘密のヴェールに包まれていたアメリカ・ソ連・イギリス・フランスなどの核融合装置が公開され、1960年には現在のSOFT（Symposium on Fusion Technology）の前身である核融合装置の技術についての第1回の国際会議がハーウェルで開催され、その翌1961年には第1回のIAEA プラズマ物理・制御核融合の国際会議がザルツブルグで開催されたことから明らかなように、本質的に国際協力を前提にして現在に至っています。このような国際会議の創始や、留学生の交換・派遣は、なんといっても国際協力の事始めですが、私に TEXTOR 国際協力の話を「国際交流事始め」の立場からせよというのは、その少し異質なところを強調せよとの意味であると受け取りました。そのような観点から少し述べてみます。



宮原昭氏

TEXTOR（Torus Experiment Technology Oriented Research）計画は1976年にIEA（International Energy Agency）の国際共同研究の枠組みで、TEXTOR装置を共同利用して核融合研究を行うことを目的として発足しました。加速器の分野では、すでにCERN（欧州原子核研究所）が稼働しているし、日本でも原子核研究所、高エネルギー物理学研究所があつて珍しくはないのですが、核融合の分野では、名古屋大学プラズマ研究所の高温プラズマ発生部門が、多くの研究者に共同利用でき、核融合研究に貢献できる装置を模索している最中でした。TEXTORはドイツ連邦共和国のユーリヒ（Jülich）原子核研究機構のプラズマ研究所で建設されましたが、建設がユーラトム（EURATOM）で認められ、予算化されるまでに至る道筋は苦渋に満ちたものでした。ヨーロッパには、すでにイギリスのカラム（Culham）研究所、フランスのフォンテネ・オ・ローズ（Fontenay-aux-roses）研究センター、ドイツ連邦のマックス・プランク・プラズマ物理研究所-ガルヒング（Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching）という大きな研究所が活発に研究を続けていましたが、オランダ、スイス、イタリア、スウェーデン、それにドイツのユーリヒの研究所は小さくはあるが特色ある研究を行っていました。しかしヨーロッパ全体での限られた予算のなかで、一歩踏み出すことは容易ではない。そこで頭をしばったのは、前研究所長で当時はESRIN（European Space Research INstitute）の所長であったH. L. Jordan、所長のF. Waelbroeck、後にJETで活躍したP. Nollの国際派3人でした。そして当時のトカマクより一周り大きい装置をつくり、周辺プラズマの研究に主眼をおいて、国際共同研究の枠で行うことを提案しました。まことにタイミングがよかったことに、1974年1月のIAEA核融合炉設計の問題点に関するワークショップで、ガルヒングチームによってトーラス装置における不純物蓄積の問題が提起され、周辺プラズマの研究が急務であることが強調されました。かくしてTEXTORはユーラトムのお墨付きを得て、国際共同研究の先頭をきって進んでいったのです。協定締結の予備会合に出席した私と日本原子力研究所の鈴木康夫さんは、名古屋のプラズマ研究所が、装置による共同研究の思想にまで達していながら、よい本尊を発見できなかった不幸を嘆いたものでした。

国際協定は1977年10月16日に発効し、EC、US、カナダ、トルコ、それに当時はECに加盟していなかったスイスとスウェーデンが調印しました。日本の加盟は1978年4月13日にずれこんだのですが、それは装置を参加国の研究者が故意に破壊した場合の保障の方法を、各国は保険で行うことにしたのを、日本の大蔵省は、保険は年度を越えての契約であるので、予算を約束しなければならず、これは困難であるとしたためです。結局は故意に壊すことはありえないとして、参加を閣議決定してしまいました。日本が加盟してから今年（2008年）で30年になるが、日本を始めとして、各国からの共同研究者の参加も活発で、数多くの成果を上げることができました。予算の執行では、為替変動では苦しんだり楽をしたり、ソフトに対する予算を認めてくれない文部・大蔵の頭の固さに閉口してきた年月でした。こんな様々な障害を克服して国際交流・協力を開拓した経験はその後のダブレット III の共同研究に生かされ、さらに ITER 国際共同研究に生かされてくることを考えるとき、まさに国際交流事始めとしての TEXTOR を感じるのです。

【日中協力の始まり】

宮原：TEXTOR の国際協力が軌道に乗ったころ、日中の国際協力も始まりました。組織的に始まったのは、1977年10月31日に、高山一男先生を団長として、長尾重夫、関口忠、平野恵一先生と私が北京にある研究所と、成都郊外の樂山にある西南物理研究所を訪問し、研究所の見学や日本の核融合研究の状況を紹介したことが始めです。前年には毛沢東が亡くなり、4人組も逮捕されて、中国が新しい方向に進みだしたときでしたが、道路や宿舎も北京以外は整備されてなく、苦勞が多い旅行でした。しかし中国側は大変親切に、礼儀正しく迎えてくれたので、気持ちよく過ごすことができました。中国はソ連との蜜月関係が切れた直後でもあったので、装置の大半はソ連製か、ソ連の装置のコピーが多かったが、それを乗り越えて世界の主流に乗り出そうという若い研究者の熱意はひしひしと感じられ、時に討論が長く続き夜ふけに及ぶこともありました。日本側の中国訪問に対し、翌年は中国研究者・技術者がプラズマ研究所を訪問し、いろいろの装置を見学したり、高山先生の開放型装置についての見解を議論したりしました。しかし中国側の関心は、当時西南物理研究所を訪れたイタリアチームの影響を受けて、トカマク建設に関心を向けていたように思われます。私が TEXTOR の話をすると、根掘り葉掘りの質問になったことがあります。

ずーっと後のことになりますが、西南物理研究所は MPI-Garching から ASDEX のプラズマ容器を貰い受け、名古屋のプラズマ研からフライホイール発電機を移設したなどの密接な関係はそこから始まりました。それから数年して、中国科学院のプラズマ物理研究所が合肥市に建設されました。西南物理研究所が核工業部傘下の研究所であるのとは独立の、新しい研究所の発足です。新しい研究所は

トカマク・ステラレータに研究の中心を置き、同時に核融合炉工学にも関心を持ち始めました。この研究所からは TEXTOR の共同研究に沢山の研究者が送り込まれましたが、これは IEA の協定の枠外の、EC と中国との協定によるのでしょうか。しかしこの交流は別の大きな成果をもたらしました。TEXTOR の年2回の執行委員会の場で、議長の Waelbroeck はアメリカの代表の Oktay や私や合肥研究所の Huo Yuping と相談しながら、当時合肥の研究所が切望していた IBM の電子計算機の導入について模索しました。中国への電子計算機の輸出は COCOM に引っかかるので、とても考えられない時期でしたが、ユーラトムの総帥の Palumbo は、合肥の研究所をジュネーブに本拠のある World Laboratory の分室にすることによって、合肥の研究所に IBM の電子計算機を持ち込むことに成功しました。当時としては画期的なことでした。それ以来合肥の研究所には、World Laboratory の看板がかかっています。日中の交流は、大学関係は問題なく進められたのですが、科学技術庁の監督下にある原研や電子技術総合研究所の見学はしばらくの間できなかった。北京の原子能研究所はクリプトン・フルオライドレーザーによる慣性核融合研究を促進していたのですが、電総研との交流は当初大変難しかった。

その後日中国際交流計画は、アダチケイゾー先生・渡利徹夫先生の大変な努力の許に進展を続け、今や確固たる関係になっています。

【日米協力：炉工学関係】

宮原：日米協力の炉工学では、文部省関係を私、科技庁関係を苦米地先生がキーパーソンを務めました。私が推進したのはプラズマ・表面相互作用(PSI)と真空技術です。PSIの方はトップ・トピックスでしたから、順調に進み、日米という枠組みをこえて、JETをはじめとするヨーロッパ勢、カナダ・インド・中国の研究者も自費で潜り込んできて、活発なワークショップを10年ほど続け、世界中へのデータの発信源になりました。真空の方はオークリッジ研の Langley と一緒に始めたのですが、プリンストンの真空担当者がプラズマ研究を離れたこともあって、伸び悩みました。そのために舞台を国際真空学会(IUVSTA)に移して、核融合部会をつくり、ガルヒングの Poschenrieder やプリンストンの Cohen たちと核融合装置や炉で必要になる真空の研究を国際的に活発にする努力を行ないました。真空技術は核融合炉の粒子バランスの実現には本質的な役割を担うのですが、時期尚早であったのか、その後核融合だけでなく、プラズマプロセスも取り込んだ部会になって、現在に至っています。

【IAEA-Subcommittee A&M Data for Fusion】

宮原：この Subcommittee は早川幸男先生がプラズマ研究所の核融合研究企画情報センターの設立とともに、大変な努力を払われて、IAEA のなかの Nuclear Data Section のユニットとして発足しました。大学側は趣旨を理解して、高

柳和夫先生や鈴木洋先生という原子物理学の専門家を代表にして、大きい役割を果たしました。ただ原研は少し誤解をして、当初は Nuclear Data の専門家を送り込んで、混乱がありましたが、やがて原子・分子データの重要性が認識され、専門家が情報センターの仕事に大きな寄与を行いました。私が日本の代表をしている頃に、また誤解が生じて原研が鹿園直基さんや菊池康之さんを送り込んできて、中性子のデータがどうであるかなどの質問をして、皆を驚かせましたが、私が Subcommittee の名前を A&M&PMI (Atomic & Molecular Data, and Plasma Material Interaction) と変更することを提案して、委員会の性格をはっきりさせて現在に至っています。



座談会全景

【何が国際交流に駆り立てたか】

藤田：どうもありがとうございます。国際交流の最初のところから現在までも、ということで、感服している所ですけれども、最初にお聞きした、何が宮原先生をそういうことに駆り立てたんでしょうか。確かに、核融合に対する情熱と言うのであれば、国際交流だけでなく、いろいろなものがありますが、为什么呢ね。

宮原：为什么呢ね。物好きじゃないでしょうか。そうですね、ユーリッヒの研究所というところがラインランドにあって、色々な意味で快適だった、いい思いをしたからではないでしょうか。

藤田：私も1960年にプリンストンに行ったとき、確かに宮原先生のおっしゃるような文化の違い、というものを強く感じましたね。

市川：宮原さんの言ってる意味を僕はこういうふうにするだけだね。ヨーロッパではそうでしょう。日本だってね。藤田さんの質問で、宮原さんに、なぜ国際交流に熱意を燃やしたかと、僕なんかは、聞かれたとすれば、これは科学者の宿命だと思うんだよ。日本という国にいて、物理を勉強しようと何をしようと、もっと幅を広げよう、広く海外に、言ってみれば武者修行に出かけたいという、本質的なところがあるのでは？それには当然国際的な交流をしなくては。

宮原：やはりね。プラズマ表面相互作用というのは、当初としては、相棒というか、理解をして一緒にやろうという

のは、国外の人だったんです。

市川：われわれだって、プラズマの kinetic theory をやろうといえば、ベルギーに行き、Prigogine や Balescu と付き合うとか、自分のやりたいと思うことをどこに求めるかというと、国の内外に関係なく仲間を求めるというのがあるよね。

宮原：そうですね。私なんか、プラズマ壁相互作用で、いちばん先に、やっぱりガルヒングの連中と親しくなって、それから、サンディアやリヴァモアも、Ken Wilson とか、そういう連中と親しくなって、じゃ一緒にやろうということになって、国内も及ばずながらということで。

【国際会議事始め】

藤田：話題が変わるんですが、市川先生、国際会議、特にICPP (International Conference on Plasma Physics) ですが、それを初めて名古屋でおやりになった時のこととか、その後、日米とか、いろいろとご活躍になったと思うんです。それから、日ソも、確か市川先生はずいぶんご熱心だったと思いますが、少しお話いただけますでしょうか。

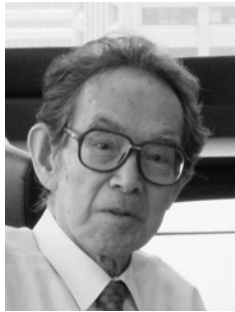
市川：今お配りしたのは、『今後の国際交流の展開と旧ソ連邦の動向』(プラズマ・核融合学会第11回年会予稿集, 1994.4)。これ、確かプラズマ・核融合学会の中部大学で開かれたシンポジウムの時の原稿だったと思うんです。ちょっと思い出させていただいて、三つぐらいの話をさせていただきますか。

まず、日米交流のことでは、いちばん最初に始めたのはアメリカのベル研究所にいた長谷川晃さん、名古屋ではプラズマ研究所の池上英雄さん、私は日本大学にいて、日米のプラズマのシンポジウムをやろうということになりました。時代はちょうど安保騒動の時、日米協力をそういう形でやるとは何事か、というので、物理学会などでも反対の声が上がっていたのです。そのころはまだ冷戦のさなかなので、「市川さん、日米日米と言うけどソ連との交流はどうなの？」と聞いたのは佐藤紘一君（当時、日大）。その時はソ連との交流は未だなかったんですけれども、「もちろんやるつもりなんだよ」という話をしていた、キエフの国際会議、理論物理のキエフ会議というのがあって、そのなかの物理、プラズマの話をするというので、最初に行ったのは1967、8年かな？その時にKarpman なんかと話をしていると、自分はユダヤ人で、そのころ外国へは絶対出られない。だけど、国際会議でいろんな人に会っていろいろ話ができるとか、ざっくばらんにそんな話までしたのが印象的でした。その後、「波動と不安定性の国際会議」、スイスが第1回かな？その辺にはプラズマ研究所の理論の人たちも、実験の人たちも参加してきて。それが進んで、ICPP を始めようということになって、その第1回を1980年に名古屋で開こうという話になったのです。そのころの私の活動は、全部物理学会のなかの活動の一環として、でした。プラズマ物理はその中のサブセクションの活動としてやりました。プラズマの国際会議を開催するには、任意団

体の核融合懇談会では、補助金も申請できないとか、いろんなことがあったので、学会をという形になったのです。

田中：その時に、プラズマ・核融合学会ではなくて物理学学会をベースとされたのはどういう理由ですか？

市川：その時はまだプラズマ・核融合学会ができてなかった。名前もなかった。プラズマの中の波と不安定性の研究を、非常に限られていたそういうテーマを、少し題目を広くして、プラズマ物理の国際会議にしよう、波の話から広げようということになったのが、このICPPの始まりなのです。



市川芳彦氏

国際純粋・応用物理学連合（IUPAP）の中に、原子核のサブセクションやプラズマ物理のセクションがあって、第16委員会がプラズマ物理。私がIUPAPのメンバーだったので、物理学学会を基礎として、IUPAPで主催する国際会議にと。そんなことがあって、核融合懇談会を進めてこられた渡辺健二さんなどと協力して、学会の設立を始めたのです。その時に、学会の名前にプラズマを入れるか、プラズマ・核融合にするか、核融合にするかというような議論がありました。

【日ソ協力の始まり】

市川：日ソの核融合の交流をどういうふうにするかということでRabinovichに会ったのですが、「この協定は、お前たちの方は政府がやるんだらう？」という質問。「ガバメントだらう？」というので、「そっちもアカデミーといってもガバメントでしょう」と言ったら、「いや、ロシアアカデミーというのは、ピーター・ザ・グレートが作った組織の中で、唯一革命を生き残った組織である」と。ロシアというのはそういうものを大切にするんだと、今でも忘れられない言葉の一つです。Rabinovichが、誇らかに、「オレの方は、アカデミー」。そこで理解したのは、アカデミーはアカデミーとして自分のお金をもってるんだ。政府でなくて。だから自由が利く。それに対して、「お前の方は、文部省のお金で動いているから、自由が利かないだらう」というのが印象に残っています。

もうひとつ、科学技術協力協定という、きちんとした政府間の、二国間の協定という、たくさんあるんですね。そういう中で、核融合はどういう位置付けだったのか、火山とか地震とか、いろいろある中で、どういうふうに評価されているのかということが気になっています。

【一筋縄では行かない国際協力】

市川：国際交流のことで忘れられないのは、そのころ日本とアメリカの間で、SSC（Superconducting Super Collider）の計画というのが、科学技術協力のなかの一つの重要な課題だった。そのときばくはちょうど、イリノイ大学にいて、そこへSSCのリーダーがやってきて、SSCの内容や進め方

についてコロキウムをやろうと。それはCERNに対抗して、アメリカの中での加速器の地位を高めようという意識があったというように僕は理解しているのですが、いろいろな話の中で一言も日本との協力を説明しないわけですよ。私が理解していたのは、SSCの中で、例えば計測器関係は日本が協力する、というような形になっていたと思っていたのです。それで皆と一緒に食事をしたときに、「日米協力で、日本の役割を一言も喋らないのはけしからん」といった。その後、今度その人たちが日本に来て、西川哲治さんとかと文部省に行って、SSCの国際協力を認めてもらおうと。結局は潰れましたね。そういうときの使い分けというのは、アメリカ人らしいところかも知れません。

藤田：石野先生もだいぶご苦労があったようですが、議会での証言であるとか、炉工学関係の日米協力についてお話ししたいかと思います。

石野：私は炉工学というよりも、やはり材料が専門なので、



石野葉氏

その面に関わってきたと思います。核融合に深く関わるようになったのは、やはりトカマクがよいデータを出した1968年頃からでしょうか。実は、ほとんどそれと同期して、材料が非常に大量の中性子照射を受けると、ボイドができて膨れ（スエリング）が生じるという話が、1967年に‘Nature’に発表されて、ちょうどそれと核融合炉では材

料が大量の中性子照射を受けるという話とが結びついて、だいたい1970年頃を境に、全世界的に核融合材料の研究が急速に発展してきた。1970年代は、どちらかというと、初期的な概念設計的な段階で、この時期は科学研究費の役割が非常に大きくて、科研費を通して、炉工学各分野のいわゆる組織化が進められたと感じています。何期間かにわたって科研費があったと思いますが、最終的に大きく結集したのが核融合特別研究。これは10年間続いた訳ですが、そこでの非常に大きな目玉はやはり炉工学だったと思います。予算は核融合全体から見ると、それほど大きな枠とは言えなかった。年間7億位だったでしょうか。材料とプラズマ壁相互作用については、両方で年間、大雑把に1億円。これで相当多数の大学を結集することができた。

それから、1977年の福田首相とカーター大統領の合意を受けて、1979年ですか、日米政府間で科学技術協力協定ができた。これは確か、いくつかの専門分野が指定されていたと思います。石炭液化など、その三つの中に、核融合が入ってまして、それを実施するために、政府間レベルから、各省レベルにブレイクダウンしていった、あるテーマについては、当時の原研が日本の窓口になる。（実際には科学技術庁が窓口機関になって、原研が実施機関として指定される。）文部省は Implementing Agent の一つとして、米国エネルギー省との間に交換公文を交わし、実際には当時の名古屋大学プラズマ研究所が研究計画立案と実施を

担当するという形で進められたわけです。そこで最初に取り上げられたプロジェクトが、住田健二先生、河村和孝先生のRTNS-II (Rotating Target Neutron Source-II) 計画。これは、ローレンス・リヴァモア研究所にある世界最強の14MeVの中性子源RTNS-IIを使って照射研究をするという計画で、1982年、RTNS-II協力だけのアグリーメントを作って始められました。これは住田先生にお話しいただいた方が良いですね。スタートは1981年だったですか？

住田：一般協定ができる前だったから非常に苦労しました。

石野：RTNS-II計画を実施部隊として中心的に推進されたのは、亡くなりましたけど、桐谷道雄先生でした。計画はRTNS-IIの利用全般ということで、材料以外の、例えば超伝導とか、そういうテーマももちろん含められたのですけれども、ほとんどのアクティビティは材料照射研究だったと思います。DT中性子の照射の効果に関しては、きわめて貴重なデータが沢山出ました。少し勝手な見解かもしれませんが、この頃まで核融合がどういうふうに進んできたかという、最初はプラズマ物理で、閉じ込めに関心がシフトして行ったと思いますが、一方で、炉工学と言うのは、核融合が、本当にエネルギーを作るためならば、DT核融合の場合は、エネルギーの運び屋は、中性子なんですね。ですから中性子の運動エネルギーを如何にして我々の使いやすい形に変えるかが中心課題です。放射線のエネルギーを、簡単に熱エネルギーに変えることができれば万々歳ですが、これは非常に難しい問題です。核融合の実用を考えた時には中性子の関わりを無視することはできない。中性子が関わる材料研究というのは重要だと思います。

RTNS-II計画は結局のところ、アメリカが装置を維持できなくなり、1987年に終了しました。アメリカ側は、照射研究の次の発展段階として、割に新しい炉ですが、ワシントン州のリッチランドにあるFFTF (Fast Flux Test Facility) という原子炉を使わないかという提案を持って来ました。相当詳細に検討して、このFFTFという原子炉は、14MeVではないのですけれども、高速中性子の世界で最も高いフラックスが得られる原子炉であるということで、ポストRTNS-IIのプロジェクトとして、FFTFの利用を決めました。当初は宮原昭先生が中心になって、やっていただいたわけですが、正式に日米政府間協定の下にある、文部省-DOE交換公文の付属書(アネックス)を作って、そのもとで正式に計画を進めていこうとした訳です。アネックス-IというFFTF協力に関する協定書を、だいたい1年ぐらいかかって作り、日米で合意しました。宮原先生とご一緒に度々アメリカ側と交渉したわけですが、アメリカ側からは国際関係の部局の人たちと、弁護士なんかが沢山出てくる。こちらは素人で、その辺は大分違うんだけど、とにかく国際的な仕事を進めていく上では、先手必勝が原則だなと思って、まず日本側からアネックス原案を提案しまして、大筋は良かったんですが、1年間の交渉で揉めた中の非常に大きなところがエスコートの問題でした。これは研究者がアメリカ

カの装置を使って実験をやるときに、必ずエスコートをつけるというのがアメリカ側の要求で、これは、やはり研究者の意識として、研究というのは精神的な自由が必要ですから、これには断固反対した。「エスコートの条項を削れ！」と。スタートした時にはまだこの条項は入っていたのですが、しばらくして、1年足らずでこの条項は取れました。

【FFTFシャットダウン騒動】

石野：それで、FFTFを使った研究というのが、1987年にスタートしました。アネックスに盛り込んだ計画期間というのは8年間。道半ばにして1989年の12月に、DOE長官(Jim Watkins)が何の事前の予告も無しに、いきなりFFTFを止めると言い出した。アメリカの言い分は、“Revenue”という言葉を使いましたが、要するに日本からの収入は1億円程度にしかならないので、この装置を運転し続けることを正当化できない。私たちは、「それは話が違ふよ。国際的に約束しているのだからね」と主張しまして、それで、1990年の3月に、ワシントン州から出ている下院議員の方(Sid Morrison氏)の紹介で、その方は、実は下院の科学技術委員会の「エネルギー研究開発」小委員会の筆頭共和党委員なのですが、FFTF問題で議会で証言しないかという招請がありまして下院の小委員会にでかけました。要するに、アメリカがこれだけ国際的な約束をして、こんなすばらしい実験設備を使うプロジェクトを日米協力でスタートさせたのだから約束をちゃんと守ってください。FFTFはテクノロジーの上からも非常に優れたマシンなので、ぜひ協力を続けさせてもらいたい。他の実験設備だと、やはり出来ることは限られる、と言う話をしまして、どれだけ効果があったかは、わかりませんが、FFTFはその後2年間1992年まで生き延びました。1992年の春にFFTFがシャットダウンされた後、アメリカが提案したのは、アイダホにある遥かに古いEBR-2 (Experimental Breeder Reactor-2) という原子炉の利用です。FFTFは400 MW、EBR-2は60 MW。高速炉の開発の初期に作られてから、その後いろいろ変更されてはきましたが、材料試験については、FFTF/MOTA (Materials Open Test Assembly) のようなオープンテストアセンブリーはなく、照射体積も遥かに減ってしまいました。実験条件についてもFFTF/MOTAは非常に優れた実験設備で、温度をプラスマイナス5度にコントロールできて、これは今日でもなかなか実現が難しい程の技術です。そのような訳で、FFTF/MOTA プロジェクトの最後の2年間は、1994年まで、EBR-2を使って照射し、それでFFTF/MOTAを終了しました。

先ほど、国際交流を何故やるかという話題が出ましたが、やっぱり日本人が日本の国内だけで、付き合っている限り、やはり日本人は日本人なりの類型化された考え方からなかなか抜け出せないと思いますね。その辺を打ち壊してくれるのが海外との付き合いですね。それに、やはり優れた人が多いと思います。それぞれの人はそれぞれの長所を持

っていて、それを認めて付き合っていくことが非常にメリットになる。僕の感覚としては、尊敬をもって相手と付き合うということ、これがメリット。ですから、実験設備はシャットダウンされましたけど、日米協力を続けていくということが非常に有意義であるということで、1994年からは、私は定年にもなりましたので、身を引きましたが、JUPITER計画というのにつながって行きました。JUPITER計画というのは、メインは、オークリッジ研究所の高中性子束同位体炉HFIR (High Flux Isotope Reactor) を使うという計画でしたね。

【ITERと材料研究】

石野：JUPITER計画も、私もそばから見てると、アメリカの考え方はずいぶん変わりましたですね。アメリカは当初、ITER、すべての材料研究はITERのためにというのが最初にあって、誰がJUPITERとつけたんだったのかな、JUPITERというのは、綴りを見ますと、Japanese University, Plus, アメリカのITERとつなぎ合わせたようになってますね。＜笑＞

難波：“JUPITER” というのは、“Japan – USA Program of Irradiation Test for Fusion Research”から取ったものですが、“Japan – USA Program for ITER”と揶揄されたこともありました。また、JUPITER-IIの時（2001年度–2006年度）には、“Japan – USA Program for Integration of Technology and Engineering for Fusion Research”と読み替えたりもしました。

石野：JUPITER計画も最初の頃はそういう感じだった。日本の方が、かなり基礎的なことをテーマにしていたのですね。それが途中から変わって、アメリカがITERから手を引いちゃったんですか。そうすると、アメリカが、基礎指向になった。日本の方が、むしろエンジニアリング指向が強くなりました。

苦米地：核融合はサイエンスだとDOEは指定しましたからね。

石野：やはり当時のJUPITERを進めていったころの考え方は、材料というのは、「ITERのために材料開発をするんだ」、では間に合わない。ITERの設計は、既存の材料で、既存のデータベースでやらなくてはならない。そうすると、材料研究というのは、ポストITERのため、ITERの後の実験装置を作るためのデータベースを提供する必要があるということで、先進的な材料とか、いわばデザインウインドウを広げる。そういうテーマがかなり中心だった。それで、JUPITER計画のメインのテーマは、複合条件下の材料挙動。そういうテーマになる。それなりの成果が出たと思います。私自身はあまり関係していませんが、難波先生はずっと関係してこられた。

住田：複合条件下、というのは、例えば中性子照射がある、強い磁場がある、それ以外には、高温とか？

石野：そうですね、やはり応力下とか、温度勾配下とか、二次応力って凄いですからね。そういう条件下で中性子照射を行ったらどうなるかということなどに関心があつた

と思います。

宮原：材料照射の方はね、松田さん、Broader Approachの方で、IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) がありますね。私は加速器の出身だったけど、一番最初は原研の塚田甲子男さんあたりが言い出して、それから高エネ研の石丸肇君がやり出して、それでその後ずっとつながっていったと思うんですけどね。あれは、これからやっぱりBroader Approachとして、設計、予備研究は日本で、建設はヨーロッパで、なんですか？

松田：これは日欧のジョイントなんですよ。日欧で分担するんですけど、たまたまR&Dのかなりの部分はヨーロッパで作って日本へ持ってくるという形で、IFMIFの建設場所はまだ決めていません。

石野：前段階での加速器は六ヶ所村？

松田：R&Dとはいえ、加速の四重極高周波加速器とドリフトチューブライナック (DTL) の初段までは作るんです。実機と同じものを。だから、相当のレベルのR&Dができる。

石野：そのIFMIFに関連してはですね、だいたいこれも、70年代おしまいあたりですね。アメリカが、1979年頃ですか、FMIT (Fusion Material Irradiation Test) 計画というのを出した。あれは敷地も、ハンフォードに決まっていたんですよ。

住田：あとでその話をしましょうか？文部省から頼まれて国際評価委員会へ参加したので、あれは本当に残念だった。

石野：いいところまで行ったんですけども、FMITの計画というのは、その後IEAの枠で議論されるようになった。

苦米地：日本がもうちょっと支えていたら進んだかも知れない。

石野：ただその後、IEAでCottrell 先生のパネル、さらにAmelinckx 先生のパネルが開かれ、いずれのパネルでもやはりFMITのようなものは必要であるという結論を出しました。私も後者のパネルに原研からの近藤達男氏、村上義夫氏と3人で参加し、強力中性子源が必要であることを強調した報告書を書きました。その後も、IEAのもとで強力中性子源を作るという活動が続けられました。1989年にサンディエゴで、強力中性子源の会合が開かれて、議長のドン・ドラン (Donald Doran) がIFMIFという言葉を出したんですね。私はちょっと揶揄をして、“IF Money Is Funded”と。＜笑＞

住田：僕はそうだとばかり思っていました。

石野：それから後、ずいぶんIEAなどで議論がなされて、その辺は、宮原先生が詳しいと思います。基本的には、やはり国際エネルギー機関の枠組みで、国際協力を進めていく。設計に関しても、かなりのレベルまで進んでいた。やはりいちばん難しいところは、オンビームで、リチウムのターゲットの挙動がどうなるか。ここのところは本当に実験してみないとわからないことです。その辺のところまでをつめて、議論しましたが、その後、とにかく細々と続いていったんですけども、最近のBroader Approachの関連で、実現の小さな芽がでてきた。

藤田：どうもありがとうございました。今の話題に関連して、住田先生、お願いします。

【RTNS-II：日米協力の発端】

住田：米国の核融合研究の中心的な場所であるローレンス・リヴァモア研究所が、14 MeVのエネルギーの中性子源として、世界最強の約 10^{14} n/sくらいの加速器型のものを計画していました。それも同じ規模のものを二つ同時に設置して、交互に使う計画でした。勿論、自分たちの方で両方使うつもりで、建設にもかかったのですが、途中でそんなもので材料の基礎研究なんかをやっているという声、たぶんプラズマの方からでしょうが、それが大きくなってきて、維持管理の予算の見込みがつかなくなった。そこで、逃げ道としてはアメリカ単独でやるより、国際協力を使うことでどうかと考えて、日本へ提案してきた。装置の完成が近くなってからです。ヨーロッパからの参加の扉も開けておいたが、無視されましたね。

たまたま、私たちの大阪大学は1978年からですが、同じリヴァモア研に既設の、それより1ケタ位下の出力のRTNS-Iというコッククロフト型中性子源と類似のものの建設に着手していました。当時はリヴァモアでもまだRTNS-IIは完成していなくて、建設途中でしたから、当然それも見に行つて、かなり親しい関係がありました。研究者ベースで、色々なデータをもらったり、図面をもらったりして、その経験を教えてもらっていたのです。日本では、東海村の原研がほぼ同時にFNS (Fast-Neutron Source) というほとんど同じ規模のものの建設を計画しておられたので、原研の方もリヴァモア研へ調査に行ったと思うのですが、何故文部省側に話がきたのか、多分材料照射の基礎研究との関連からではないかと思うのですけれども。

ただ、その前に日米の核融合協力の一般協定ができていればよかったのですが、できる前だったので、外交事務的な手続き面で前例がないために、ひどく手間取った面があります。投資効果や技術的では、もうすでに完成に近い装置を、建設・開発費を負担しないで、ランニングコストなどを半分ずつ負担し、マシンタイムも半分分けにしようという話ですから、確実性は高いし、決して悪い話ではない。正確な金額を覚えていませんが、年間、5億か6億ぐらいの総額だったと思うのですが、日本側が用意したのは、先方に渡した金額はもっと少ない、4億ぐらいですかね。プラズマ研究所を通してお金を払った。

それから、文部省では、年間に何億というお金を払って、しかも多数の人を派遣しなくていけない国際協力の前例もなかった。その運用の組織的な裏付けがない。たまたまプラズマ研究所が共同利用施設で、各大学の共同利用に色々と便宜を提供していましたし、中性子源の利用に関する放射線管理面では、我々のOKTAVIANも経験を持っている。いろいろ段取りをして、結局今見ますと、延べ31名派遣したことになっています。名前を見られたら、みんなあとで偉くなった人たちばかりで、当時の若手の優秀な研究

者が短期間3カ月ずつ行つて使うということで交互に送り込み、各大学にオープンにした。その競争のような感じで皆さんが努力してくださった。残念ながらもう亡くなられた桐谷道雄先生が一つの良い例ですけど、基本的な高エネルギー中性子の放射損傷の基礎研究を、しかも、短時間で集中的に大きな仕事をしていただけた。

【文部省対DOE、材料研究も基礎過程から】

住田：それからもう一つ、忘れてはいけないことは、サンプルを照射して、その結果を先方の実験室の電子顕微鏡（電顕）で観察したいが、放射化してそう簡単には手が出せないものもある。日本に持って帰ってやれない。文部省はそれに対して理解があつて、狭い意味での共同利用の費用を向こうに払うだけでなく、そう



住田健二氏

いう電顕をポンと買ってRTNS-IIのそばに置いた。要するに、放射線管理エリアにです。サンプルは簡単に持ち出せないからです。そういう電顕をもう一台、東北大学の金材研大洗分室にも置かせてもらう。向こうで、液体窒素で冷凍した状態でのサンプルを日本へ持って帰ってきて、大洗まで持ってきて、観察することもできるようにした。そういう連携プレーのようなことを、文部省の研究助成課が嫌がらずに面倒みて下さった。それで、大きな成果が出せた。

一例を挙げると、当時のRTNS-IIの利用者達が先方の低温照射の研究者グループと組んでやった一連の仕事です。D-T中性子がさっきの話のようにボイドを作るかどうかの基礎研究から手をつけた。そのためにはまず、いきなり核融合に使う材料をやるのではなく、いちばん損傷が出やすい金を使って素過程を観察した。覚えているのですけれども、そういうときでも、金なんかは核融合で使うはずがない、なんでそんなことやるんだとは言わないで、素過程の研究から積み上げていくという説明を、文部省側は非常によく理解してくれた。このサイエンスからやるという基本姿勢。勿論、エンジニアリングデータも少しは出ましたが。アメリカ側は、その点で非常に日本の姿勢を高く評価してくれた。アメリカでもそういうことをやるべきだという意見は研究者間にはあつたけど、実現できなかった。またお金も付かなかった。アメリカの研究者は、金が付かないと全然やりませんから。日本では、どこからか工面してきて細々とでもやろうとしますが。

RTNSでは、日本側は、文部省が正面に出て予算化して、基礎研究からやらせた。その意味では、アメリカ側の評価が高くなった。日本が、そういう基礎実験に対して、思い切つて、当時としては、思い切った金をかけた。しかも、グループを作つて、大量に優秀な研究者達が交互に来て、どんどんどんどん仕事した。大量の照射サンプルも飛行機で持って帰って、大洗で観察させてもらえた。これは東北

大や原研・大洗研の人たちの影での応援があったのですが、とにかく、皆さんがよく理解してくださって、上手くいったんです。

勿論、損傷の素過程だけをやっていただんではなくて、例えば光ファイバや半導体素子とかが壊れやすいですが、OKTAVIANでやって1年かかるところが、1桁上のもので炙れば、1か月でできてしまいますし、そういうエンジニアリングデータの意味のものも、ずいぶんサービスしました。あまり学問的には評価されていませんが、実際日本のメーカーさんからは随分と感謝された。基礎研究的なデータだけでなく。

FFTF/MOTAの例もありますが、やはりアメリカ側の政府筋の計画の突然の豹変には非常に困る。国際協力で研究している場合には相手のことも考えてほしい。正直に言いますと、アメリカ相手に、5年計画とか10年計画というのはとんでもない話です。大統領の任期が4年だから、4年まではとりたいんだけど、実はそうではない、まあ有力な議員さんがついていても、個人的に責任持ってやれるのは最大で2年、それから先は政治家の世界で、だれも分からない。これは大きな教訓でしたね。

僕は若い頃にアメリカに留学していますから、その頃にすでに体験した筈ですけれども、それでも「うわー」と叫びたい感じでした。日本では我々は政府の仕事というのは、いったん決まると、何か非常に安定な長期的な展望があり、それに乗っかっているのだと思っていますから、ついつい惰性で動く面がある。それを、実に思い切ってばっさりやってくるアメリカ人というのは、あんな条件でよく長期的な仕事ができると思いました。正直なところ、怖いですね。核分裂炉関連の場合には、まだしもそんなに不安定な感じはしなかったんですけれども、核融合の場合は、日本側の確たる姿勢がより大切だと思います。

【OKTAVIANにまつわる話】

住田：別の面ですからOKTAVIANの役割を少しだけ話させてください。文部省が大きな予算を付けてくれたのでRTNS-IIが加わり、原研でやっているNFSと私達のOKTAVIANの3つの強力な14 MeV中性子源が使えるようになった。その利用は当事者同士でうまく相談してやれて、材料損傷のようなものはRTNS-IIに頼む、核融合炉設計のようなエンジニアリングデータは主にFNSで出す。たとえば遮へい材の試験とか、基礎設計の確証のようなものです。大学の方は、核融合炉に使う基礎的な物質の核データの二重微分断面積(DDX)を次々測定してまとめるような基礎的なことをやりましょうとシェアをしました。ただ、そうした共同利用面ではひとつ大きな壁があった。私達の設備はいわゆる学外共同利用の研究施設として公的に認知されたものではなかったのです。これは、私達の学内の都合で高い予算順位がもらえなかったことによります。それで、研究費や旅費は科研費の核融合特別研究の援助を仰ぎ、なんとか全国的な規模での関連大学の研究グループの共同

実験で、LiブランケットにBeブリーダーを組み合わせた体系での、T増倍の可能性の確証実験まで遂行できました。

その成果を海外で発表できたのが、私の大学定年退官の半年前の1992年秋であったことは今でもよく覚えています。

それで、もう一つの大切な仕事は、当時の政治体制の壁を越えた交流をするのは、まだ原研は東側との交流が難しかったので、より自由度の高い大学の方が引き受けた。原研の人は簡単にソ連に行って、向こうの研究所を訪問したりできなかったわけです。我々は大丈夫ですから、かなり積極的に先方にも訪問したし、向こうからもやってきました。中国や東独の人を短期滞在でしたが受け入れたりしたものでした。その点では、核分裂炉での世界より、よりアカデミックな段階にあった核融合研究のほうがかなり開放的で、色々と交流が容易だったように思います。

【国際協力の難しさ】

藤田：ありがとうございます。その点では、日米とか限られた国だけではなく、ずいぶん苦勞なさったと思います。



藤田順治氏

照射の話でお二人にちょっとお聞きしたいことがあるんですが、アメリカの都合でもって、突然シャットダウンとかありますね。そういった時に、せっかくのそういう国際交流でもって築かれたものが、そこで止まってしまう。それを何とかしようというお気持ちはあったと思うんですが、それはどうしようもなかった

たんでしょうか。アメリカとが駄目だったら、国内でそれに代わることをもっとやったら、あるいは、ヨーロッパとやったらどうなるだろうとか、そんなことは考えられなかったんですか？

住田：アメリカのRTNS-IIの例で言いますとね、アメリカしか持っていませんね。同時にヨーロッパにもRTNS-IIを貸すという話でしたが、結局どこからも申し込みがなかった。それから一つ言い忘れましたが、形の上では、時間をシェアして、半分を日本が使えるから、マシンタイムを半分くださいといったのですが、蓋を開けてみると、アメリカ国内では、RTNS-IIを使って核融合関係のいろんなマテリアル研究をする予算がさっさと切られていた。結果的には日本が8割くらい自由に使っていました。アメリカとしては日本にサービスするために運転していた感じで、特に最後の半年間の独占実験なんかはひどかったと思います。アメリカの現場の人たちはそういう最大限のサービスをして、アメリカとしてのメンツを保ってくれた。しかし、残念ながらアメリカ国内で全体での研究費のことは、政治面での判断が反映していたと感じます。

石野：やはり長いものには巻かれろというのは、日本だけかと思ったらそうではないですね。

住田：DOEの担当者、元研究者ですが、にもかかわらず、大きな権限を持っていて、日本の文部省のお役人というのはやっぱり遠慮していますよね。先生方の無理も一応は聞いてくれるわけです。とにかくにも、陳情に行ったら聞いてくれますよね。向こうでは、君達が口出しをすることではない。だから、お金をつけてやった仕事を忠実にやってください。契約の観念ですね。

苦米地：アメリカでひっくり返すためには、議員を動かさなくては駄目ですね。

住田：だから、セネターが落選したらもう潰れるという。

石野：日本を凄くサポートしてくれたのは、ドン・ドランではないですか。彼は、FFTFのシャットダウンの時に、非常に早く、素早く、例えば議会に手紙を出すとか、アクションを取ってくれた。

住田：RTNS-IIのときにも、ローレンス・リヴァモアの研究所の情報網ではなくて、別のある議員さんの情報、極秘情報でカットされるというこのつかんだんです。それで日本を頼ってきた。それは僕も、どこからとは言いませんが、やはり情報をちゃんと持っていますから。それはやっぱり議会筋から情報をもらって、対応して、そしたら、やがてやってきた。

松田：日本も、装置や施設を持っていて、対等な立場になって、それで、できるんだったら答えが見つかるかもしれないけれども、そうでもない今までの話だと、どちらかというと、一方的に使わせてもらっているわけですね。

石野：それはそうなんですけどね。14 MeV中性子源というのは非常にピュアな条件ですから、実際の核融合炉の条件とは違うんです。ですから我々のやり方としては、可能な中性子源は、それぞれの特性をよく考えた上で使い分ける。お互いに関連が付けられるような形で。だから、試料は全く同一にしておいて、それをRTNS-IIにも入れるし、たとえば日本のJMTR (Japan Materials Testing Reactor、材料試験炉) にも入れる。それで、実は、FFTFのプロジェクトが始まる1年前に、諸住正太郎先生にやっていただいたんですが、高速実験炉JOYOにも同じ試料が入れられた。

松田：研究目的はそれでわかるんですけども、基本的にはアメリカの善意でオペレーションをキープしてもらっているという形じゃないかと思うんです。マシンタイムを求める場合、要するに日本が運転費を全部出してまで運転してくれとは言えなかったわけですね。

何か他に日本の持っている施設があれば、そういうものを取り引きして、というのもありうるかなという気がするんですけど。RTNS-IIの場合も、FFTFの場合も、結局向こうがお金がないから仕方がないという形で、ある程度延長してくれたけど、それ以上は難しかったとい

う、国際交流上のバランスが取れてなかった、日本が投資していなかったという意味ですけどね。

住田：特定の局面の各分野の中だけではバーターできないから、核融合全体でやらなくてはならない。自分たちの専門分野だけでは駄目で、サブ分野ですから。

藤田：ありがとうございます。アメリカの続きで、GAのダブレットIIIのお話をお聞きしましょうか。狐崎さん、お願いします。

【日米協力：ダブレットIII】

狐崎：いままでの皆さんのお話を伺っていて、相手がころころ変わって困った、という点は基本的にまるっきり同じだなと思いました。ダブレットIII計画では、5年間に大体150億円くらい、現在で考えてもすごいお金を払ってマシンタイムを半分もらおうというものでした。そのもらい方は、原研の実験チームと、GAの物理チームとが、1週間交替でそれぞれの実験をするというやり方です。

原研の方は、ずーっと続けて5年間サンディエゴにいた人は、調べてみると意外に少なく3人しかいない。でも、多くの方が次々と来られて、合計52人年にもなります。平均すると常時10人いたという勘定です。お蔭様で成果もたくさん出ました。計画の発端の科学技術的な面ですが、JFT-2aで、トカマクにポロイダル・ダイバータをつけるという実験を始めたんですが、それをもう少し大きいのでやりたい、というのが基本的な発想でした。将来はD形でダイバータ付き、ということも考えていましたし。実は、ダブレットIIIが始まる前に、JT-4という装置の設計をやっていました。これも、建設はしなかったんですが、私がグループリーダーで4年近くやりましたから、建設直前で発注できるころまで、設計書もできていました。また、日米協力の話が出る前に2年にわたって、JT-4の設計のためにGA社から年に一人ずつ来てもらって、技術的な情報ももらっていたという前置きがあります。

我々はJT-4の経験があったので、ダブレットに行ったときには、ダブレットIIIのハードウェアで、コイルの結線をこうしたらこういうプラズマができるだろうとか、そういう技術的なことは、たぶんGAの物理チームよりも、我々の方がよく知っていたと思います。それも、うまくいった理由のひとつだと思います。この協力の元々の発想は、アメリカのチームはダブレット形のプラズマで研究を進め、日本の方は装置の上半分だけでD形のプラズマを作って研究することがベースになっていました。だから、二つのチームが研究面で衝突することなく、うまくいくだろうというので、協定もそのつもりでできているわけです。ところが我々が行ってから、半年位たった時点で、ダブレット形はなかなかできない。プラズマが上下に二つに分かれてし



狐崎晶雄氏



松田慎三郎氏

まう。ドロップレットになってしまいました。我々のD形の方が、どんどん成果を出し始めて、世界で初めてプラズマ電流を1 MA流したとかニュースにもなって、GA側からすれば、かわいそうだったと思います。ついに、GAの方もD形実験をやると言い出しました。日米の運営委員会（ステアリング・コミッティ）でも相当の議論をした上で、結局GAの方でも、D型の実験をすることになりました。現場としては、まったくの競争になるわけですから、それは嫌だったですけど、仕方ありませんでした。

藤田：そういう厳しい競争状態では、そうでなくてもぎすぎすがちな人間関係にずいぶん気を遣われたでしょうね。

狐崎：そうですね、競争で厳しかったとも思うし、一方、個人的には両チームのメンバー同士は、そういう状況のもとでも非常に仲良くでした。向こうも我々の所に来るし、我々も向こうの家に呼ばれて遊びに行ったり、個人的には非常にうまくやっていたと思います。おかげでGAの物理チームの多くの方は、マージャンを覚えました。厳しいところもあるけれども、うまくやっていたと、私は思います。そのときのグループの構成は、運転グループ、計測グループ、加熱グループ、これはほとんどアメリカ人。それが二つの実験チームをサポートして、隔週に違う実験をするという形をとっています。面白いのは、GA社にはもともと大河さんがいますから、GAの物理チームの中にも日本人が、3、4人いて、かつ、彼らは優秀ですから、結構GAの物理チームの中でリーダーシップを取っている人です。その人たちも、もちろん我々と仲良くやりました。米国の一般的風潮として研究成果を盗むというようなことも聞いていたので、ちょっとは心配していましたが、結果的にはそんなことはなくて、GAのみなさんもきちんと紳士的に対応してくれていたと思います。その一人が、今核融合研にいらっしゃる大藪修義さんです。それから人の派遣ですが、原研以外の方では、ほとんどは日立さん、東芝さん、三菱さんが派遣してくださった研究者です。メーカーさんがたくさん出してくれたし、特に1〜2年という長期派遣の人を出してくださったことがありがたかった。メーカーさんからの参加者の中には、伊尾木公裕さんがいますが、彼はITERの開始直後からエンジニアリングのリーダーを務めてこられたし、ほかに、あとでITERで活躍する人がたくさん出ています。ダブレットIII計画（の第1フェーズ）が終わってから半年後にJT-60の運転が始まりました。私も含めてダブレットIIIの全員が帰国後すぐにJT-60に入ったんですけども、JT-60の運転がうまく立ち上がったのも、この人たちの貢献が大きいと思います。計画が始まる前に言われていた予定では、我々がGAに行っても数ヶ月後の1980年の春からはNBIが使えるという事だったんですが、行ってみたら話がぜんぜん違って、実際NBIが使えたのは、行ってから2年後ですね。5年間の最後でも、NBIのパワーは、21 MWになるはずが結局 8 MWしかいきませんでした。思っていたこととは全然状況が違っちゃっ

たわけで、それに対応しながら実験計画を考えることが結構大変でした。NBIの前の段階のジュール実験の期間が増えましたが、でもできるだけ早い時期に、「ここに原研、日本チームがいるぞ！」という、何でもいから、何かアピールすることをしたいと思いました。そこで、それだけでは、ほとんど科学的な意味はないんですけども、プラズマ電流 1 MAというのをまず出しました。幸い、日本の新聞は全部記事を出してくれました。アメリカの中でも、それで、おお！という感じがあった。1 MAと同じ週に、ダイバータ形状を作りました。ダブレットでダイバータの実験ができるなんて誰も思っていなかったと思います。この形は実は1年前、まだ日本にいたときから検討し始めていました。我々のメンバーはとくに知っていたんですけども、チーム外のひとには一言も言わなかったんです。GAの運転グループの方も、今日は妙なコイル結線を言われたな、と思ったでしょう。ダイバータ配位を作ったことは、たぶん大河さんもびっくりして喜んでくださったと思います。これは我々日本チームにとって大きな弾みになりました。そして、この形状は、暗黙のうちに日本チームの形状ということになって、これはGAチームも手を出しませんでした。

いい成果が出たのは、チーム全員の努力が第一の理由ですが、GAのみなさんや、DOE、そしてプリンストンやオークリッジなどの研究者みなさんが親切に応援してくださったからだと思っています。文化の違いが協力していい結果が出たということは、表には出ていませんが、ITER計画の一つのベースになったと思います。良い結果が出たのは、いまお話ししました周到な準備をしていたからということです。そして、結果的に見るとITERのような、その後の国際協力で活躍する人がダブレットIII計画から沢山出ました。それから、5年間に、70.1 M\$。これはJT-4を建設するとしたらたぶん300 億円というふうに見積もっていたんですけども、たまたま半分。これは、1978年ころにアメリカがダブレットIIIを作ったけれども運転費が困るので、半分持ってくれという話があったようです。だから、JT-4を作るより予算の面では助かったという面もあります。それからこの協定は、私も最初の交渉に参加して、私の文章がこの協定に入っていることは嬉しいことです。当時は5年間もてば良いと思って協定を作ったのですが、予想外もひどいことに、まだ続いています。ですから今でも、ステアリングコミッティというのは続いていて、ダブレットIIIの計画に日本側が意見や希望を堂々と言うことができます。ダブレットIIIは良かったと、自分言うのは変ですが、本当に良かったと思います。でも、それを下手に言うとう誤解されることを、帰国した時から心配していました。それは、外部の人から「何でも国際協力をやれば、いいじゃないか」と言われてしまうことです。誤解を避けるためにぜひ言いたいことは、いい成果を出すことは大事なんだけれども、日本の国内の装置でやることもっと大事であると思うし、安上がりになるなんていうのを

狙っていたのでは駄目だと思います。日本が、世界のために優秀な人と資金を出す、ということが大事なんだと思います。

苦米地:一つコメントしたい。すばらしい成果をあげたというのは珍しいと思います。高 B のプラズマを作って面白い実験をやれそうなのはダブレットIIIなんですね。だから、十分に高 B のプラズマを早く作ってよ。

狐崎:そのうちJT-60が改造に入ると、国内で、なかなか面白いことが出来ないの、ダブレットIIIでやったらと、先日那珂研に行ったときに話しました。

苦米地:そういう意味で大いに期待しています。いまだに続いていますから。

【ITERの始まり】

苦米地:国際協力ということですが、いろんな形の国際協力というのがあると思うんです。たとえば端的に言えば、情報交換を主にして、定期的に会合を開きましょうというの、一種の国際協力です。そういうこともあるし、全く別な、物を作ろうという、ばかどかい装置を、大型トカマクを作ろうというのがあります。ITERも国際協力と言いますが、国際協力にも、性格によっていろいろあると思います。私はITERに絞って申し上げようと思います。



苦米地顕氏

さて、ITERが始まるきっかけとなったのは、レーガン・ゴルバチョフの1985年の米ソ東西首脳会談、いわゆるサミットなんです。その時に、珍妙なことがありましてね。この年の4月12日付で、「このサミットでは、核融合の国際的研究を提案したら良い・・・」という記事がニューヨークタイムズ紙に載ったのです。そのコピーは今ここに持っているんですけど・・・その趣旨は、「米ソ東西首脳が、サミットと言う歴史的な会議をする。ゴルバチョフとレーガンが、初めて東西の軍縮の議論をする。それがとても大事なことは分かるけれども、それだけでは世界の人々は全然興味を持たない。それはそれで大変なことなんだけど・・・そこで、「国際協力で核融合を開発すべきだ・・・」と提案する。つまり、ちょっとみんなが、おおっ！と思うようなポジティブなメッセージも発すべきだ・・・」と。そして、そのアイデアが共同声明の最後に、入ったんです。それがきっかけです。つまりその東西首脳共同声明の第13条の文章に、“Two leaders emphasize the potential importance of the work in controlled thermonuclear fusion for peaceful purpose, and in this connection, advocate the widest practical development of international cooperation obtaining this source of energy, which is essentially inexhaustible for the benefit of all mankind.”という提言がなされたのでした。かなりかっこいい文章で、これがITER 活動開始のきっかけとなったのです。

ところが、当時は米ソが高度な科学技術的知識を伴う作業を共同で行うなど、とても信じられないような東西対立、所謂冷戦の時代でした。しかしその後、John Clarke という、すごく腕力のある DOE の人が、ホワイトハウスにこの件に関する特別な検討グループを作って、国防省DODも巻き込んで、それで決めたのが、ソ連とアメリカと日本とヨーロッパの4者で、核融合装置の設計活動をやろうということでした。そして、それを京都で開かれた IAEA の核融合国際会議で正式に提案したのです。

そこで、それら4者から代表者達が集まって、どういう考え方で何をするか、さんざん議論したのですが、たまたま私がその会議の議長をさせられました。つまり、国際協力をやる時には、どういう考え方でどういう仕事をどれだけの時間内にやるかということを、きちんと最初に考えて、その基本政策をみんなが共有する、これが大変大事なことだと思います。

実は、このITERを始めるための会議は合計3回やることにしたのですが、その結果は、トカマク型の実験炉を設計しよう、大体10-20 MA 位流せるトカマクを、3年間位かけて設計をやろうと、それ以上長い年月かけることはないと言うことで、合意しました。そして、この計画を更に進めるとすれば、建設のための詳細設計をする、また建設に必要なR&Dを行って確かめることが必要などと、合意したんですが、実は最後の最後までもめたのは、どういう立場で、4者それぞれがどういう権限と責任を持って作業をするかということでした。例えば、ヨーロッパの代表は、D型のプラズマを作って世界で一番良い成果をあげたのは我々のJETである。だからヨーロッパの我々の経験をベースに、作業すべきである。アメリカの代表は、我々のTFTRでは、DT実験をやって世界最高のDTパワーを出した。ロシアの代表は、超伝導トカマクT-15を作ったのは俺達だ。俺達がイニシアティブをとるべき、といった具合で、議論が全然纏まらない。そこで、最後の結論のまとめをしなければならぬ3日目の会議の午前中に色々考えて、みんなが議論にくたびれた頃に、「皆さんがこれまでの自分たちの研究の歴史を踏まえて主張するのは、科学者として当然である。だけど我々に課せられたのは、きちんとした作業計画についての合意を得ることだから、議長として私が一つ提案したいので、聞いてくれないか・・・」と提案したら、「では聞こう・・・」と言うことになったのです。そこで「皆さんが自分たちのこれまでの核融合研究の歴史を踏まえて主張するのはよくわかる。端的に言えば、我々4者は、人種も文化も違うし、国も違い、軍事力にいたってはゼロと無限大くらいの違いがある。しかし私の見たところ、我々4者の間には大きく言って二つの大事な共通点があると思う。その一つは過去30数年、核融合反応でエネルギーを取り出そうということを目的に研究を続けてきた。つまり、その“Mission”使命は同じである。また、そのために最近、それぞれ毎年200 M\$から300 M\$を投資している。つまり我々4者の核融合研究は、目的が同じで、努力が同等

だと言えることが、非常に大事なことだと思う。だから、それ以外の様々なことは、この際全部、脇に置こうではないか。そして、この協力を、対等、平等の原則に基づいた責任と権限、義務ということでやるのが一つの考え方であると思うけど、皆さんどうだろうか?・・・」と提案したのです。そしたら、ECの代表が、さっと手を上げて“**Yes! That is a philosophy. We agree with the Chairman's proposal!**”と発言したのです。続いて、アメリカの代表やソ連の代表も賛成して、それで ITERの作業計画が纏まったのでした。

そして、もう一つ言いました。我々に課せられた大事なことは、情報交換とか、よそから何かを学ぼうということをやるとは言わないけれども、それは我々のやるべき主要なことではない。大事なことは、世界の最先端のサイエンスの知識とテクノロジーの知識をうまく集めて考える最良のトカマクをデザインすることである、と合意したのです。こうして、ITERをやるための仕事の枠組み協定を作ったのです。問題は、その4者以外、つまりアメリカ、EC、ソ連、日本以外の、どこかの国がこの活動に参加したいと言いつつ出たときにどうするかでした。それは自明だ。等価だという原則に当てはまらない。だから、そういう国が現れた時には、我々4者の中の誰かの帽子をかぶって、参加するということにし、協定の中にそのための特別な条文を設けたのです。実際、後にチェコが、ソ連の帽子をかぶって参加しましたし、カナダは、ECの帽子をかぶって参加しました。

私が言いたいのは、最初にそういう枠組みを、きちんと決めることです。こうして、ITER活動のための国際協定を作ったのです。実はそれ以前には、INTORという核融合の活動が、IAEAの活動として行われていたのですけれども、皆から見ると、7年ぐらい続いて、最後の頃は、惰性でだらだら仕事を続けていると見られていたのです。だから、この会議の途中で、「INTORizationだけは避けよう」、そういう言葉が生まれたほどでした。

そして、ITERの概念設計は3年間でやりましょうということで、ドイツのガルヒングに集まって、皆がいろんなことをやってくれました。その時に、私が仕事のやり方で一番心配したのは、ナショナリズム。そういうエゴ、国としてのエゴが出たら困るなということでした。そこで、いろんなグループ、例えば超伝導のグループも、プラズマ物理のグループも、工学関係その他のグループも、すべて4者の混成部隊にしたのです。ところが、半年ぐらい経って、「しまった!」と思いました。簡単なんですね。何のことはない。ナショナリズムではなくグループのエゴが出ちゃったんですよ。例えば、私が装置の寸法縮小の検討を依頼しようとした時のことです。超伝導のグループは「これこれで超伝導の寸法は変えられないから、他の処の寸法を変えるべきだ・・・」だとか、そんなことがありました。しかし、ともかく3年間、皆よく仕事をしてくれたと思います。

実は、正直言って私は、ITERが始まった時に、設計責任者、つまりチームの大將をやってくれと非公式に言われたときに、私はなんとなく気が進まなかったというか、一度は辞退したのでした。理由は、当時、このような国際協力ではとても装置を作れっこないと思ったからでした。なぜならソ連と日本は所謂“Cease-fire”「停戦」の状態で平和条約さえもない。また米国はソ連への科学技術情報の流出にすごく神経質である。そんな国同士が集まって20年、30年かけて、共同の仕事をするといっても、とてもやれっこない。それがためには、例えば日ソの平和条約を作るという方が先決だ、などと思ったからでした。ところが、設計作業の途中で大事件が起こったのです。あのベルリンの壁がなくなったのです。そして、それまでアメリカとソ連という東西間にあった、情報管理の問題が大幅に緩和されたのです。実は、ITERの作業中情報のリークというのには、すごく神経を使いました。例えば、マックスプランク研究所のスーパーコンピュータを設計作業に使わせて貰いましたが、研究所は「ソ連人には、コンピュータのパスワードを渡して呉れるな!」というんです。つまり、「ソ連人は、必ずそれ以外の国の人と一緒にコンピュータを使ってくれ・・・」と言うこともありました。それで、ソ連が崩壊して、ITERが作れそうになったのでした。

実は、最初に、ITERの概念設計をやった時には、1988、89、90年と概念設計をし、その後、6年間かけて、詳細設計と超伝導なんかの建設に必要なR&Dをやって、1997年に着工というシナリオを描いていたのです。ところが、最近何人かの親しい外国人に「あなたが始めた時のスケジュールでは、もうとっくにITERができていたはずだ。そしてJETとかTFTRとかで、素晴らしいプラズマ物理実験をやった連中が、ITERで更に素晴らしい実験やってくれた筈だ。ところが、あなたがちゃんと後の面倒を見ないから、そのような優秀な連中の大方が既に引退しつつあって、大変残念だ・・・」と、嘆かれました。そうなんです。それは、凄い大きな損失です。心ある人達は、外からITERの現状をそのように見ているんです。今後は出来るだけ早く、ITERが完成することを願っています。

色々なことがあり、こういう大型の装置を作るのにとって、国際協力は難しいというのは分かるけれども、問題は、プロジェクトというのは、時間通りに仕事をしないとダメなんです。プロジェクトと言うのは、予定された時間内に、予定された金額で、使命を達成するというのが大変なことなのです。情報交換とか、そういう国際協力には、そういう条件はないのかも知れないけれども、いろんな国際協力をやる時には、どういう考え方で、いつまでに何をするか、しっかり考えてやるということが、私は非常に大事なことだと思います。その意味では、実際やってみますと、色々大変な困難があるのは事実です。しかし、世界中の心ある人達に、ITERの現状がそういう風に、見られているのは大変残念に思います。

こうしたITERでの経験が、今後、核融合の国際協力を行う時にお役に立つことを願います。以上です。

藤田：まさに、未来に対するメッセージをいただきまして、ありがとうございます。

【慣性核融合の国際協力】



田中和夫氏

田中：私は、山中千代衛先生の代理で出席させていただきました。自分自身も学生・研究者として、アメリカに8年ほどおりました関係で出席いたしました。簡単にレーザー核融合の歴史を振り返ってお話しできたらと思います。慣性核融合のスタートは、1955年の磁場核融合に比べて、1972年スタートですか。モントリオールで、IQEC (International Quantum Electronics Conference) という会議に、リヴァモアの初代所長の Edward Teller が出席して、1000倍の圧縮をせよ、そしたら核融合が起こる、と宣言した。それがスタートです。それを受けて、1972年に大阪大学の山中たちのグループが、異常吸収を発見しました。レーザー光の強度を上げていくと、散乱が起こって、光が反射されて、中にエネルギーが入らなかったんですけれども、西川恭治先生たちとの共同研究で異常吸収を実際実験で捕まえることに成功しました。ここから、大阪のグループが国際社会で、切り込んでいったということになります。その後、1979年からは国際的に認知されるようになりました。アメリカの方ではこのあたりから、非公開の研究がスタートしております。ただ、国際共同研究ということでやろうとしますと、どうしても共同研究の話が持ち上がってきます。1979年のIAEAの会議では、DOEの G. Caravan という人が、共同研究をしようということを同意しながら、帰国後にトラブルに巻き込まれました。1981年には激光12号の完成間近だったんですけれども、どうしても最終段階のミラーマウントは日本で作ることができませんでした。安定なものができなかったのです。この技術を持っていたのは、アメリカのロックウェルという会社ですけれども、ここはアメリカのロックウェル社の S. V. Gahn が献身的に走り回ってくれて、実に73台というミラーマウントを阪大に納入してくれて、激光12号が完成した経緯があります。こうしたプラスマイナスが、国際の関係で揺動として起こるわけです。

1982年には、DOEのP.Kaharas が、阪大のトリチウムの使用した実験と言うのは核拡散防止条約に違反しているのではないかというクレームをつけて圧力をかけてきました。結果的にはこの話もさばいて、1982年には、阪大のレーザーで、10の8乗個のDT中性子を出す実験を成功させて‘Nature’のカバーを飾りました。さらにマイナスの方の話になるかもしれませんが、1984年には、激光12号のレーザーの波長を1ミクロン（赤外線）の波長から、グリーンかブルーに変換するための光学結晶が必要となりました。

大型の結晶は、アメリカのクリーブランドクリスタルという会社しか作れませんでした。アメリカに打診しますと、「リヴァモアのクリスタルを作るのに忙しい。」とにべもなく断られて、結局、山中グループは自前で製作すると決めざるを得なかった。阪大の方でクリスタルを作る技術を、急きよものすごい短期間で開発して会社はその技術をおろして行きました。これは、マイナスをプラスに変えた好例です。

【慣性核融合研究の機密解除に向けて】

田中：この間イギリスのラザフォードとか、カナダのアルバート大学、米国のロチェスター大学など、との交流協定を結んで、国際協力を進めてきました。それで、1988年に、スペインのマドリードで、IAEAの会議だと思えますけど、レーザー慣性核融合研究の機密解除をやっているということに、会議出席者の主立った先生、所長がマニフェストにサインをしました。アメリカのリヴァモアのレーザー部所長もサインしてしまったわけです。これがDOE（エネルギー省）の了解を全く取っていなかったの、彼の首がとびました。なぜそういうことになるかということ、1988年ぐらいまでに、大阪大学の方では、キャノンボールという、X線放射により球状のターゲットを爆縮する実験をどんどんやって、データを公開していったわけです。アメリカは、このデータは完全に非公開政策をとっており公開はできません。「俺達は、そんなことは昔にやったよ。俺達はどんどん先行しているよ」と言っていました。結局ものすごい公開への圧力がアメリカの国内で高まっていきました。さらに輪をかけて1988年に、ドイツのマックスプランク研究所のSiegelたちのチームが阪大に来て、X線放射に関して、いっしょに共同研究、実験を精力的に行いました。これに大阪は、積極的に協力し‘Physical Review Letters’に相当たくさんの論文が公開されて行きました。ついにアメリカの方は、支えきれなくなり、また当時のリヴァモアの所長のMike Campbellからも、DOEに強い働きかけがあって、相当の部分が、レーザー核融合に関して、公開されました。そういう意味で、日本側とアメリカ側とが、相互に強いコミュニケーションのチャンネルが存在するようになってきました。山中千代衛先生が、慣性核融合に対する貢献が偉大であったということで、彼が退官する時に、Emmetが所長だったんですけれどもリヴァモアからやってきて、レーザーディスクガラスに、日米への貢献を英語で書いたものを山中千代衛先生に退官記念として渡すということがありました。

1980年代には、有名なゴードン会議というものがあり、そこで、レーザー核融合が議論されていたんですけれども、公開・非公開の問題があり、ゴードン会議が、自由に話せる会議ではなくなって、廃れてしまいました。逆に、日本の発見による異常吸収の発見を契機に、異常吸収会議が新しく発足して、盛んになって行きました。1986年位に、実際に固体密度の1000倍の爆縮を達成したことを受けて、

1991年に山中先生がエドワード・テラー賞というのをEdward Tellerから自ら手渡されて受賞しています。その時、テラーは、「レーザー核融合は第3コーナーを回った」と宣言した。その後、2001年、2002年には、児玉了祐たち大阪大学とイギリスの共同研究グループが高速点火の優位性を実験で証明し、続けて‘Nature’に出しまして、アメリカは、中心点火とX線放射を利用する方式で、3000億円のプロジェクトをフランスとやってきたわけです。さらに、オプションとして、自分たちの3000億円の装置に改良を加えることを決めて、高速点火ができるようにして走っています。そういう現状です。こういうレーザー核融合の簡単な歴史を振り返りますと、日本の貢献というのは、それぞれの研究のマイルストーンのところでは結構きちっとしたものが出せているように思います。それに対して、国際協力では、プラスとマイナスの揺動を伴いながら走ってきたことが明らかだと思います。

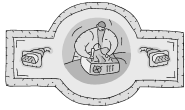
藤田：どうもありがとうございます。本当に、短い時間でまとめてくださいます。今お話しいただいた日本の貢献。それが、アメリカで機密にしていることの意味をなくさせ

たという。そのへんのことは非常に大きい意味を持つと思います。実は、成長期の座談会の時にも、宅間先生もそのことをおっしゃっていました。

【未来へのメッセージ】

藤田：未来へのメッセージというのを一言ずついただこうと思っていたんですが、予定の時間を大幅に超過していますし、皆さんのお話の中に、かなり入っていると思いますので、一応座談会はこれで終わらせていただきたいと思います。

（註）日米協力：ダブレットIII計画に関連して、当日狐崎氏が配布された『29年後のまとめ』は、国際協力を進める上で不可欠な英語の問題をはじめ、豊富な経験に基づく参考にすべき事項に満ちた、極めて有用な資料であった。そこで、プラズマ・核融合学会誌に改めて投稿していただきたいと考え、準備を進めていることを付記する。



「核融合の歴史を遺す座談会」出席者の紹介

標記座談会には、合計29名の方々のご参加を得、貴重なご発言をいただいた。皆様を「自己紹介」をベースに紹介する。お名前の中の「黎」は座談会「黎明期・揺籃期」，「成」は「成長期」，「共」は「共同利用と共同研究」，「国」は「核融合研究と国際交流」の参加者をそれぞれ意味する。（五十音順）

飯吉厚夫：「成」（い い よ し あ つ お）

中部大学総長。1999年中部大学学長に就任するまでは、核融合科学研究所初代所長。現在は国立大学法人評価委員、科学技術学術分科会委員として、我国の学術研究および研究体制のあり方について提言しているが、その効果のほどは疑問と思っています。

池上英雄：「共」（い け が み ひ で お）

プラズマ研究所ではプラズマの基礎実験を担当、1990年頃には常温核融合の真偽確定実験を行ったこともある、1996年に核融合科学研究所を定年退官。名古屋大学および核融合科学研究所名誉教授。1996年に株式会社テクノウェイブを設立、代表取締役として各種企業の技術コンサルタントを行う。現在の主題は燃料電池の開発。

石野 葉：「国」（い の し お り）

専門は原子炉材料、核融合炉材料の特に照射損傷。著書に「照射損傷」（東京大学出版会、1979）など。1994年まで東京大学工学部教授、その後東海大学工学部教授、(財)電力中央研究所研究顧問等を歴任。元核融合会議メンバー。日米核融合協力事業(Annex I) FFTF/MOTA プロジェクト日本代表。現在 Journal of Nuclear Materials 誌エディタ。

市川芳彦：「国」（い ち か わ よ し ひ こ）

原子核の多体問題に関心を持ち、クーロン力の長距離相互作用によるプラズマ効果に興味惹かれプラズマ物理の虜になる。日本大学理工学部講師、同教授、プラズマ研究所教授、核融合科学研究所教授を経て、中部大学工学部教授。その間、日本学術会議物理学研究連絡委員を務め、第1回プラズマ理工学国際会議の名古屋での開催に尽力。1985-86年日本物理学会会長を務める。

内田岱二郎：「成」（う ち だ た い じ ろ う）

大学出てから50年余、その6割の年月を学界で、残りを産業界で過ごした。先日、それらのまとめとして2008年春の80歳直前に、Inst. of Physicsより論文がTopical Reviewの1つとして掲載された。思えば20歳の大学入学時、左胸上葉が結核に冒されたが、百回を超す気胸だけで60年の歳月を生き延びることができ、幸いであった。

小川雄一：「成」（お が わ ゆ う い ち）

専門は核融合学。1999年より東京大学教授。2008年より東京大学大学院新領域創成科学研究科で核融合研究教育プログラムを立ち上げる。第三段階計画の主力装置であるITERの建設が開始された現在、原型炉建設を念頭に置いた第四段階計画のスタートを目指しています。

大林治夫：「共」（お お ば や し は る お）

名古屋大学理学部(1959-1967)、同プラズマ研究所(1967-1989)、核融合科学研究所(1989-1995)。理論物理の立場を出発点とし、プラズマ・核融合の研究発展とそれを巡る社会的および自然的環境との関係に関心があり、現在は核融合アーカイブズの作業に参加。

金子 修：「共」（か ね お さ む）

核融合科学研究所大型ヘリカル研究部教授。NBIを用いたプラズマ加熱が専門であるが、最近は安全管理の仕事も兼務している。一般共同研究委員会の所内幹事(雑務担当)を6年間務めており、双方向型共同研究委員会の委員(雑務担当)でもある。

川上一郎：「黎」（か かわ か み い ち ろ う）

日本大学名誉教授。専門はプラズマ理論・計算機シミュレーション。1958年核融合懇談会の事務局「文献センター」の主任。国内・外の研究情報を収集し、機関誌「核融合研究」を通じて組織広報活動。名古屋大学プラズマ研究所設立とともに文献センターは移管。同研究所専門委員会委員・幹事・委員長、核融合研究所運営協議員など。

河村和孝：「成」（か 村 わ た か かつ た か）

高校生のとき、地元のアルミニウム電解工場見学で溶融塩が電解浴に使われていることに驚き、溶融塩に係りたく溶融塩の出番がありそうな核分裂燃料製造、核融合燃料(トリチウム)製造を対象に研究を進めてきた。総理府科学技術庁金属材料技術研究所、東京工業大学原子炉工学研究所、同所長、東海大学開発技術研究所(現総合科学技術研究所)を経て停年退職し現在に至る。

狐崎晶雄：「国」（き つ ね ざ き あ き お）

1972年より日本原子力研究所。1979年から5年間、ダブレットIII核融合日米協力研究で原研チームリーダーとしてサンディエゴ滞在。1988年から10年間ITER理事会の日本側コンタクト・パーソン(CP)。(財)高度情報科学技術研究機構常務理事、理事長代行。現・研究参与。著書：「新・核融合への挑戦」、「青い地球を救う科学」など。

住田健二：「国」（す み た けん じ）

専門分野：中性子工学。日本原子力研究所、大阪大学工学部在任期間を通じて、パルス中性子法による中性子輸送現象の実験的解明の体系化研究に努めた。OKTAVIAN(大阪大学強力14 MeV中性子源)はその居城であった。この間に核分裂炉・核融合炉開発への研究面や国際協力の諸問題に参加協力した。永年、原子力計測分野での安全性関連の研究や規制面へも参画し、大学定年退官後は原子力安全委員、同委員長代理としての6年間の霞ヶ関勤務をつとめた後は、自由な生活を楽しんでいる。

高村秀一：「共」（た か 村 し ゅ う い ち）

愛知工業大学工学部教授、名古屋大学名誉教授。仏国グルノーブル原子核研究所、連合王国カラム研究所客員研究員、名古屋大学教授を経て2007年4月より現職。核融合PWI関連実験と大気圧マイクロ波ジェットを用いた電離ガス静電流体力学に向けた研究に従事。週末に楽しむ野菜栽培は少し腕が上がったかな。

宅間 宏：「成」（た く ま ひ ろ し）

原子・分子の物理学、量子光学を中心に半世紀以上にわたり研究。東大教授、日本電子(株)取締役、電通大教授、阪大レーザー研

授（併任）を経て、1980 年電通大レーザー研究センターを設立し、1996 年までセンター長。その後原研特別研究員を経て現在電通大名誉教授・レーザー研共同研究員。

田中和夫：[国] （たなか かずお）

専門はレーザー核融合特に、高速点火手法及びレーザープラズマ相互作用。さらにプラズマ壁相互作用へ展開中。IFSA（Inertial Fusion Sciences and Applications）などの国際会議議長を務める。プラズマ・核融合学会では、2004～2008にプログラム委員長と編集委員長を務めた。大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻教授（レーザーエネルギー学研究センター兼任）。

苔米地 顕：[国] （とまべち けん）

日本最初の原子炉 JRR-1から JRR-4、高速実験炉 JOYO、核融合実験装置 JT-60 の建設運転に従事。1986-88年、那珂研究所長。1988-1990年、ITER概念設計運営委員会議長。1990-2000年、電力中央研究所研究顧問。2006年より「妖精の森ガラス美術館」名誉館長。著書：ウランガラス(1995)。

難波忠清：[黎, 成, 国] （なんば ちゅうせい）

核融合科学研究所 OB。プラズマ・核融合学会とは前身の核融合懇談会時代から、「文献センター」などを通じて会誌の編集に20年以上携わるなど、永年のお付き合い。

西川恭治：[共] （にしかわ きょうじ）

プラズマ理論。1971年広島大学教授、1978年核融合理論研究センター設立、プラズマ研究所専門委員長、同運営委員、核融合科学研究所運営協議員等を歴任して、現在核融合科学研究所顧問。

西原功修：[共] （にしはら かつのぶ）

専門はプラズマ物理・レーザー核融合、計算物理、非線形物理。今春(2008)大阪大学レーザーエネルギー学研究センターを定年退職。現在同客員教授、(株)浜松ホトニクス、(有)キャトルアイ・サイエンスの顧問としてレーザープラズマ応用研究などを引き続き行っています。

伏見康治：[黎] （ふしみ こうじ）

専門は原子核物理、素粒子物理、統計力学。原子力の平和利用を訴え、「原子力憲章草案」で提唱した「民主・自主・公開」の三原則は、原子力基本法に盛り込まれた。名古屋大学プラズマ研究所初代所長。学術会議会長を務める。参議院議員(1983～1989)。エッセーの作品や連続幾何学模様を好み、満枝夫人と『折り紙の幾何学』を著す。2008年1月、『図解科学(1941～1944)』に連載された解説10編をまとめて、『光る原子、波うつ電子』を出版。2008年5月8日、満99歳の誕生日を目前にご逝去。（代筆：藤田）

藤田順治：[黎, 成, 共, 国] （ふじた じゅんじ）

専門はプラズマ診断。核融合科学研究所、大同工業大学定年退職。現在は核融合のアーカイブズに関心を持ち、名古屋市科学館での理科教育のお手伝い、学会の英文誌「Plasma and Fusion Research」の幹事エディタ役等に気の休まらない毎日。

松田慎三郎：[国] （まつだ しんざぶろう）

京大修士のときヘリカルヘリオトロンの研究。その後原研に入り(1969-1988)、JFT-1マルチポール、JFT-2トカマクのプラズマ閉じ込め研究を経て、NBI加熱装置の研究開発を進める。1988年より核

融合実験炉の計画に参画。那珂研究所長、理事を経て現在原子力機構執行役。ITER理事会委員。ITERと幅広いアプローチが立ち上がるまでが自分の役目。

宮原 昭：[国] （みやはら あきら）

名古屋大学プラズマ研究所(1961-1989)、核融合科学研究所(1989-1991)、帝京大学経済学部・文学部・放射線学校(1991-1998)、名古屋大学プラズマ研究所では高温発生部門・技術研究部門（真空・表面物理工学）・核融合研究企画情報センター長などを歴任、核融合科学研究所では技術部長を併任した。退官後は帝京大学経済学部で“情報機器概論”，文学部で“科学文化史”と“科学と国際協力”，放射線学校で“放射線機器概論”の講義を行なった。

宮本健郎：[成] （みやもと けんろう）

名古屋大学プラズマ研究所(1964-1979)、東京大学理学部(1979-1992)、成蹊大学工学部(1992-2000)、原子力研究所客員研究員(1992-2002)、ITER Physics Expert Group (1999-2002)。プラズマ研では JIPP-I、JIPP T-II、東大では故井上信幸教授とともに REPUTE逆磁場ピンチ装置などを用いて閉じ込め研究を行った。プラズマ関係の教科書を Springer, Taylor&Francis から最近出版。

森 茂：[黎] （もり しげる）

東京大学（理・物理）を経て、1961～1988年日本原子力研究所にて核融合研究に従事。この間核融合研究がプラズマ物理から核融合工学を目指して展開するのを経験。またINTORワークショップ議長など核融合国際協力に参画。1990年より1996年まで青森県六ヶ所村の（財）環境科学技術研究所理事長、現在同研究所顧問。

山中龍彦：[成] （やまなか たつひこ）

専門は核融合及びレーザー工学、特に計測・診断に注力。大学院生時代より高出力レーザーの開発、レーザー核融合の研究に従事。1999 年より阪大レーザー研センター長として 1978 年に提案した高速点火研究を推進、2003 年大阪大学定年退官。福井工業大学原子力技術応用工学科教授。

山本賢三：[黎] （やまもと けんぞう）

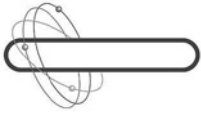
名大創立に際し富士通、理研を経て赴任（1940）、高気圧グロー放電の研究を開始、発展してプラズマ工学研究施設、大電流トラス装置を建設した。プラズマ研究所創立に当たりホスト役を務めた。工学部長の任期切れを俟って原研に入所（1971）、原子力予算による国の核融合研究開発計画の立案・実施という使命で、JT-60 の略完成をみて（1980）副理事長の任期を終えた。その後原産の常任相談役として産業界の協力を進めた。

吉川允二：[成] （よしかわ まさじ）

専門は高温プラズマの閉じ込め実験。1961-63 年東大、1963-71 年 GA 社、1971-98 年日本原子力研究所。東大でのステラレータ（乱流加熱）、GA 社でのマルチポール、原研でのトカマクと、時代の流れに近いところで仕事ができた。このことは、周りの方々のお蔭であり、また、幸運にもよっていたと思います。

吉田善章：[黎] （よしだ ぜんしょう）

東京大学教授。専門は非線形科学、プラズマ物理学、核融合科学。プラズマ・核融合学会では、理事（2003～2007）としてPFR誌の創刊にあたりました。最近の学術活動としては、『非線形とは何かー複雑系への挑戦』（岩波書店、2008）を上奏しました。



核融合50周年記念 「核融合の現状と将来」 概 要

核融合 50 年の歴史を振り返りながら、現状と将来展望についての議論を喚起する「核融合の現状と将来」が企画された。本章をメディア、産業界、大学の 3 つの切り口に分けて、世話人を通じての書簡で、あるいは座談会形式で、熱く語っていただくこととした。それらに並行して、特に将来については、若い世代の研究者自らに大いに座談会で気を吐いてもらうこととした。

「メディアと核融合の対話」

質問：日本電気協会新聞部（電気新聞）記者 小林健次
回答（書簡）：
日本原子力研究開発機構 松田慎三郎 執行役，
核融合科学研究所 本島 修 所長，
大阪大学レーザーエネルギー学研究センター
三間罔興 センター長
世話人：田中和夫

記者から共通質問として「核融合反応の点火とは？」、「いつ実現するのか？」、「自ら推進する手法の強みは？」、「核融合の成功が地球温暖化に与える影響は？」、「技術継承をどう進めるか？」、「核融合が実現する社会とは？」など、個別質問としては「オールジャパンの体制はあるのか？」、「ヘリカル方式の存在意義は？」、「高速点火への『覚悟』は？」などが投げかけられた。さて、研究機関を代表する立場のお三方からの返答は如何に？

「産業界から見た核融合」

日時：平成 20(2008)年 1 月 18 日（金）
場所：電力中央研究所 大手町本部
出席者（敬称略）：石塚昶雄（原産），
上之菌 博（電中研），
近藤光昇（東芝/原産），晝馬輝夫（浜ホト），
田中和夫，相良明男，藤田順治
司会：岡野邦彦

この座談会での産業界から見た黎明期（1970 年代）における産業界の役割、黎明期から ITER 計画立案までの経緯を踏まえ、核融合技術をどう考えるか、これからの開発をどう進めていくか、などについて座談会形式でお話いただいた。

大学と企業の情熱に支えられて小型装置を一緒に作る中で技術者が育ち、JT-60, 60U, LHD の大型装置建設そして ITER 工学設計活動につなげた日本独特の歴史、その後 2000 年前後のバブル崩壊や省庁再編の中での核融合関連産業界にとって足踏みの 10 年、その結果として人材確保と技術継承が困難になっている現状、ITER の建設と BA 計画の開始やロードマップ作成作業などで先が少し見え始めてきた昨今、議論は熱を帯び、国をまきこんだプロジェクト体制への提案などが飛び出した。

「総合化の流れの中で大学は何をなし得るか」

往復書簡：小川雄一，吉田直亮
世話人：吉田善章，高村秀一

核融合研究は「ITER 時代」を迎え、これまで「炉心プラズマ研究」と「炉工学研究」のサブ領域で進められてきた研究は「統合化・整合化」することが求められようとしている。また、ITER に比肩する巨大実験プログラムを複数並行して進めることは難しくなる。こうした変化は「選択と集中」のプロセスでもある、一方で、優秀な研究者を育てる必要があり、いわゆる学際的な還元・普遍化を本分とする大学等の学術研究が発展するためには、どのような活動が必要であるか？研究者はどのような目的を自らに課していけるのか？学会・コミュニティは何をすべきか？これらを口火にした往復書簡は会員各自になすべきことは何かを問いかけている。

「若い世代は核融合研究の将来をどう描くか」

日時：平成 20(2008)年 4 月 19 日（土）
場所：核融合科学研究所 研究棟(I) 7 階会議室
出席者（敬称略）：後藤基志（核融合研），小林進二（京大），
坂本隆一（核融合研），鈴木晶大（東大），

高橋 信（東北大）、星野 毅（原子力機構）、
松永 剛（原子力機構）、八木絵香（阪大）
司会：岡村昇一、北島純男

未来を語る「主」は未来を担うべき者達であるとの観点から若手研究者による座談会が企画された。核融合の未来の広がり予想して、核融合以外の領域の研究者にも参加していただいた。核融合研究はこれまでの炉心プラズマを

中心とした研究から、ITER に象徴されるような本来のエネルギー源としての研究に入ろうとしており、関連する研究分野自体も大きく変化することが予想される。このような段階に居合わせた若手はどのような考えで今後の研究・開発に取り組もうとしているのであろうか？意欲と熱意をもって自由闊達に議論された若手による核融合の将来像と現状の問題認識は如何に？



「核融合の現状と将来」

メディアと核融合の対話 -メディアは核融合をどう見ているか-

「資源・エネルギー問題や気候変動問題など、人類はさまざまな課題に直面している。それらを解決する「切り札」の一つとして、核融合研究に大きな期待が寄せられている。核融合には複数の方式があるが、それが不協和音を生むのではなく、相乗効果となって早期実用化につなげてほしいと願う。」（小林健次）

この記事は、プラズマ・核融合学会が核融合研究の50周年を記念した一連の企画のうち「メディアと核融合の対話」というテーマでまとめたものである。メディア代表として電気新聞記者の小林氏に最初の言葉をいただき、この対話がスタートした。日本原子力研究開発機構 松田慎三郎執行役、核融合科学研究所 本島修所長、大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 三間罔興センター長に対して、問が投げかけられ、それに対して所長達が応えるという形式で進められた。本来、対話は、ここに収録された一回のやりとりだけでは、終わらない。紙面の都合と編集作業の時間的制約で決まってしまったが、この後のやりとりは、さらにシンポジウムなどで進められれば一層分野内外への理解が広まるものと期待する。

（担当：田中和夫（阪大））

● 共通質問

1. 「核融合反応の点火とは？」

用語解説とともに、それぞれ代表的なプロジェクトの「仕組み」、「目標時期」、「投入資金」、「投入したエネルギーの何倍得られるか」も紹介していただけますか。米国などの事例も含めていただけますか。【小林】

【松田】点火の物理的意味は磁気核融合とレーザーなどの慣性核融合とは異なります。磁気核融合での自己点火はもともとエネルギーを注入せずに核融合反応により燃え続ける状態（エネルギー増倍率 $Q = \infty$ ）を意味しています。しかしトカマク方式の定常運転のためには電流を流し続ける必要があります。外部からビームや電磁波によって一定のエネルギーをプラズマに注入し続けることが必要となります。このため、自己点火とは外部からの注入パワーに比べて核融合反応のパワーが十分大きくなる状態、 Q の値が凡そ 10 以上を自己点火と言っています。核融合発電では Q の値が 30~50 となればプラントが成立します。ITER では最低 10 以上をめざします。原子力委員会が 1992 年に定めた第三段階核融合研究開発基本計画では実験炉段階で凡そ 20 以上を目標にしています。

ヘリカル型核融合炉ではプラズマを閉じ込める磁場はすべて外部のコイルが作り出すので、プラズマに電流を流す必要はありません。このため、自己点火状態ではエネルギー増倍率は非常に大きくなり得ます。

これに対してレーザー核融合では真空中に置かれた燃料が四方八方からのレーザー光で照射され、プラズマ状態で加熱・圧縮され、温度と密度がある一定値を超えると中心部分で始まった核融合反応が燃料全体に広がります。これを点火と言っています。しかし、磁場でプラズマを閉じ

込めるわけではないので、核融合反応は持続しません。そこで、この核融合点火を繰り返し、間欠的に出てくる中性子のエネルギーを時間的に平均化して利用することになります。このため、発電炉として成立するためにはエネルギー増倍率は 100 以上必要となります。

核融合エネルギー実現への道

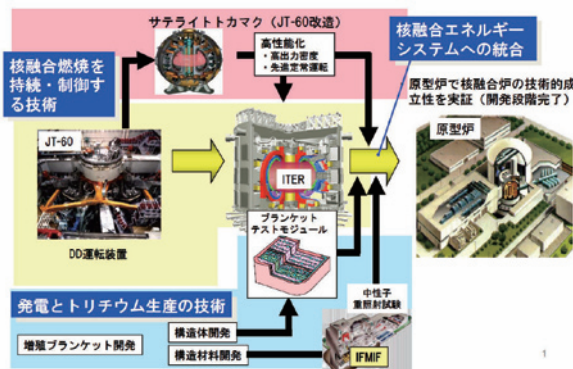


図1 ITER と核融合エネルギー開発

国際協力で実施することになった実験炉 ITER での目標は、自己点火領域のプラズマ（エネルギー増倍率 Q で最低 10 以上）の制御法を確立することと、発電機能を除く核融合炉の構成機器の統合試験を実施することにあります。この計画の中心となる国際機関である ITER 機構は 2007 年 11 月に正式に発足しましたが、建設に 10 年、その後の実験・運転を 20 年やってシャットダウンし、除染に 5 年、その後廃止措置のためホスト国に引き渡しを予定しています。投入資金は 1 ユーロ=151 円と換算した場合、建設時に約 7800 億円、運転期毎年約 450 億円（停止後の

廃止措置の積立分を含む)、生涯のプロジェクトコストは約1兆7000億円と見積もられています。ITER計画は各国が国際協力で実施することを合意して進められるものであり、世界ではこれ以外の実験炉は現在のところ計画されていません。

ITERは核融合エネルギー実現の最終ゴールではありません(図1)。研究開発のゴールはプラント規模で発電を実証する発電実証原型炉にあります。原型炉は Q の値が30~50、定常運転が可能なものでなくてはなりません。トカマク型原型炉でも各国においていくつかの概念設計がなされていますが、電気出力が数10万~100万kWであることを共通点としますが、大きく分けて全体が球に近いリング型で磁場が比較的弱い装置と、球を少し押しつぶしたカボチャ型で磁場が強い装置が構想されています。

なお、核融合炉の運転に耐えうる材料の候補として使用温度に応じてフェライト鋼や炭化ケイ素材などが開発されていますが、これらの材料が連続して何年にわたって使用できるかという耐久寿命を調べるには核融合炉よりも強力なIFMIF(中性子発生装置)での材料照射試験が必要となります。このため、国際協力で強力な中性子発生施設を建設し、候補となっている材料に照射して強度などの材料の特性の変化を調べることにしています。この施設は設計とR&Dに7年、建設に7年ぐらいかかりますが、建設費は約600億円と見積もられています。現在は建設に先立って必要な工学設計とR&Dが日欧の国際協力で進められており、7年間で約200億円強の資源が予定されています。

【本島】核融合反応は星のエネルギーの源です。46億年前に誕生した私達の太陽の中でも重力による超高圧力の下で高温のプラズマと化した水素4原子の核融合反応(p-pチェーン)が安定にそして継続的に起こっています。その結果地上に生命が誕生し私達の人類の高度な文明へと発展してきました。

太陽の中心は1千500万度あり、そこで発生した熱は太陽の中の対流によって50万年かけて表面に出てきます。その間、プラズマの温度は、太陽の表面温度5千度まで下がります。そして太陽表面から放射された熱と光は宇宙空間を8分かけて地球へ飛来します。ですから、今私達に届いている太陽の熱と光の恵みは、50万年+8分前の水素の核融合反応によって発生したものです。

このエネルギー反応を地上で起こそうとすると太陽の巨大な重力による閉じ込めの原理は使えませんから、別の方法、つまり重力に代わる強く精度の高い磁場の中に高温のプラズマを作り閉じ込めて核融合反応を継続的に起こすための研究が必要になります。水素では反応確率が低すぎますから、最も反応しやすい重水素(D)と三重水素(T:トリチウム)を燃料として使います。目標となるパラメータは温度1億度(T)、100兆個/ccの密度(n)、閉じ込め時間一秒の(τ) (1億度の温度をプラズマの粒子が保っている時間)、プラズマの磁場に対する圧力比5%です。従ってこのパラメータ領域に到達して実際に核融合反

応を起こすことが、点火であると言えます。

磁場の構造と磁力線については高い性能が求められ、端のない構造、つまりひねられたねじれのあるドーナツ型を必要とします。磁力線をねじるために、コイルをねじるというアイディアに基づくのが核融合科学研究所の大型研究プロジェクトである日本独自のヘリカルヘリオトロン型のLHD装置です。図2に鳥瞰図を示します。

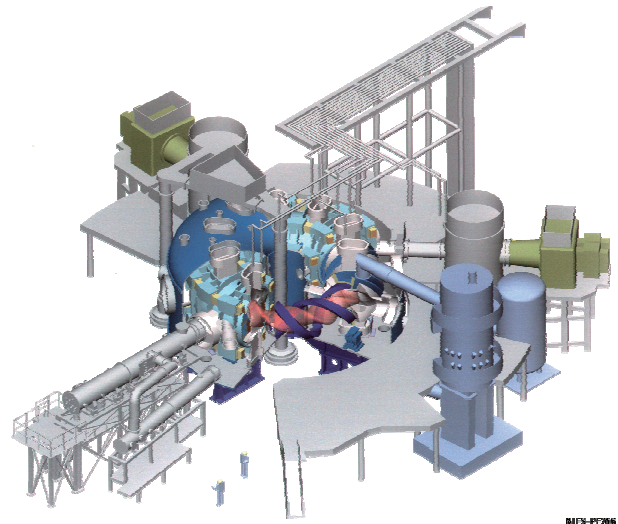


図2 日本独自のヘリカルヘリオトロン型のLHD装置

点火条件の達成とそこでの物理研究は、ビッグサイエンスとしてのLHD核融合科学研究所の最終的な目標であると言えます。そこから先は実際に発電と水素エネルギーを生産していく実用化に向けた開発研究の段階となります。

LHDでは現在水素を使っている研究をしていますが、数年前に重水素を使っている研究が可能になり、上記目標に近い条件での研究が、約10年の内に実現する見通しです。そのためには、あと240億円の設備に対する研究投資が必要です。

この段階は、発生する(等価的に)エネルギーと入力エネルギーの比 Q 値にして1近傍を目標としています。

【三間】レーザー核融合における点火とは、核融合反応で発生するエネルギーのうち主にアルファ粒子が担う部分によりプラズマが加熱され、核融合反応速度が速くなり爆発的にエネルギーが放出されることをレーザー核融合における点火と呼ぶ。

レーザー核融合点火の方法には、中心点火と高速点火の2つの方式がある。中心点火では、球状の爆縮過程で生じる中心部のホットスパークから局所的に核融合燃焼が開始する。これを実現する方法に燃料球に直接レーザーを一樣に当てて球状爆縮を起こす「直接照射法」とレーザーをX線に変換して燃料球に照射する「間接照射法」がある。中心点火の実証に向けて、超大型レーザー(米国ローレンス・リヴァモア国立研究所のNIF: National Ignition Facility)

と（フランスボルドーの原子力研究所のLMJ: Laser Mega Joule）が建設中であり、NIFの建設予算は約3800億円である。2011年までに点火が間接照射法で実証される予定であり、投入したレーザーエネルギーの20倍以上の核融合エネルギーが発生する予定である。その後、より高い利得をめざした直接照射法による点火燃焼実験が予定されている。

一方、高速点火は、爆縮で発生する超高密度プラズマをピコ秒のレーザーで加熱して燃料プラズマの周辺部にホットスパークを作り点火する方法であり図3に示す。

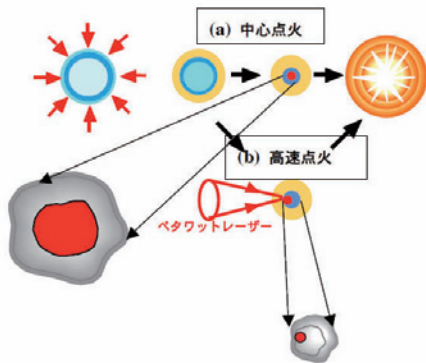


図3 (a)中心点火と高速点火のコアプラズマの構造と点火過程、(b)核融合利得のレーザーエネルギー依存性と点火に必要なレーザーエネルギーを示している。赤い領域から核融合燃焼が開始する。

この方式の原理実証に向け、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターや米国ロチェスター大学で大型の点火用レーザーの建設と原理実証実験計画が進んでいる。大阪大学のFIREXプロジェクトで建設するLFEXレーザーを図4に示す。



図4 FIREX-Iプロジェクトでの爆縮プラズマの加熱のためのLFEXレーザーが完成（2008）

大阪大学の計画のレーザー建設予算は約80億円であり、2011年までに点火条件が定性的に達成される予定である。その後、点火実証実験計画を2015年に予定している。

2. 「いつ実現するのか？」

机上検討から実証試験、商業化に至るまでの流れを簡単に説明し、現在はどの段階にあるのかをお示しください。

【松田】現在は JT-60 などによる $Q \sim 1$ の段階を終え、実験炉 ITER 建設の段階に進んできました。ITER が完成すれば、この装置において Q 値が 10 以上の核燃焼プラズマ（自己点火プラズマ）を制御する手法を開発することになっています。

ITER でこのミッションが達成され、また、別途並行して進められる材料開発に一定の見通しがつけられれば、その次の段階が原型炉であり、プラント規模での発電を実証することが主な目標です。原型炉では ITER などを使って開発された発電ブランケットにより、核融合で生まれた熱を取り出し発電に使うとともに、燃料のトリチウムがブランケットの中で生産できることを実証することが求められます。

原型炉による発電が実証されれば、あとは商用化に向けてひたすら信頼性の向上と、経済性の追求をコンポーネント毎に行います。原型炉は研究開発としては最後の統合システムであるとの考えは欧州も日本も変わりません。原子力委員会では 21 世紀中葉までに、実用化の見通しを得ることも視野に入れているとしています。

この方針に基づき、最近核融合エネルギーフォーラムでトカマク型の核融合炉の市場参入までの道筋がロードマップとして纏められました（図 5）。必要な資金や人員も検討されています。これによると、原型炉による発電の実証は 2030 年代のうちに終わることになります。

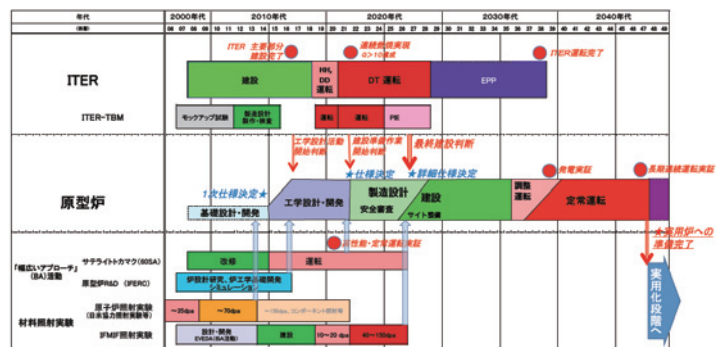


図5 トカマク型の核融合炉の市場参入までの道筋

【出典：核融合エネルギーフォーラム ITER・BA技術推進委員会報告書「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」（2008年6月）、掲載URL（ダウンロード可能）：
<http://www.naka.jaea.go.jp/fusion-energy-forum/>】

【本島】その先には当然デモ炉計画がひかえています。デモ炉によるエネルギー生産の開始は、図6の私達の研究ロードマップに基づくところから28年後です。

今から30～40年前、核融合エネルギーは研究者の夢でした。しかし、今日では研究が進んだ結果明確な目標となっています。それはどういうことかと言いますと、クリテ

イカルパルスを定めて、研究開発と投資をすることによって確実に到達できる目標となったことを意味します。

ヘリカル型核融合炉の実現に向けて

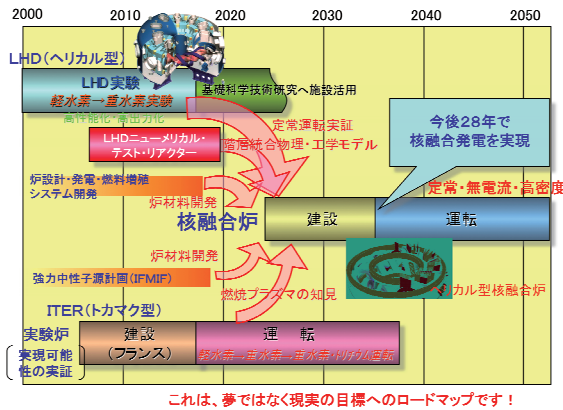


図 6 ヘリカル型核融合エネルギー炉へのロードマップ (年次進行)

図 7 を見てください。この図はコンピュータの集積回路の開発、および、高エネルギー研究の進展と核融合研究の進展を比べた図です。スーパーコンピュータの計算スピードが 2 年で 2 倍改善されているという法則は、ムーアの方法と言われ有名なものです。それに対して高エネルギー分野は 3 年で 2 倍です。私達の分野はというと先程の ntT 値 (核融合 3 重積といいます) も 2 年で 2 倍伸びています。

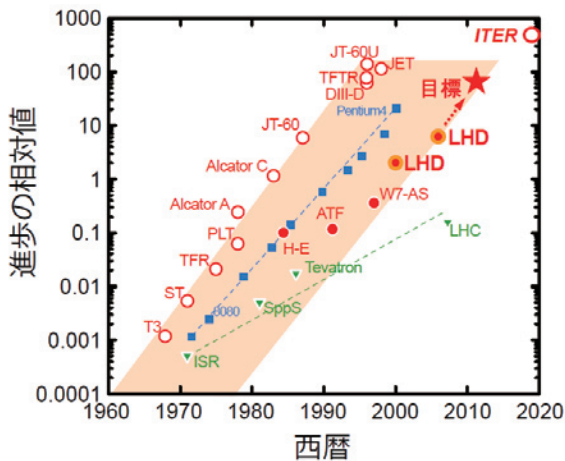


図 7 核融合 (赤), 集積回路 (青), 高エネルギー加速器 (緑) 研究の進歩の比較。白抜き丸はトカマク方式, 赤丸はヘリカル方式

図中左側の端が ITER と同じトカマク型による代表的なデータ点であり、トカマク型が過去核融合研究を引っ張ってきたことがよくわかります。ヘリカル型はヘリカルコイルを作ることが難しかったため、始めのスピードは遅かったのですが、LHD の研究の進展によって今急速に伸びています。

こうした核融合研究の急速な伸びの結果、社会の核融合研究に対する理解が研究の進展に追いついていないので

はないかと実は大変心配しております。原油の値段が上がっているのも、産油国が核融合研究の進展をにらんで今のうちに高く売ってしまおうとしているといううがった見方も世界にはあるくらいです。

【三間】レーザー核融合では、(1) シングルショットによる点火と高利得 (投入したレーザーパルスのエネルギーの 100 倍以上の核融合エネルギーの発生) の実証と (2) 高繰り返し 10 メガワット級レーザーによる高繰り返し燃焼試験の 2 段階を経て、実証試験、商業化の開発が進められる。第 1 段階は 2011 年に予定されている米国の点火実験装置 NIF による点火実証で高利得の条件が明らかになると予想される。うまく行けば、直接照射の NIF 実験で第 1 段階の実験が完了する予定である。一方、高速点火については、2011 年以降の点火実証実験計画の開始が日本や英国で提案されている。提案どおり進むと 2020 年まで高速点火による高利得の見通しが立つ。第 2 段階の研究開発については、基礎研究がレーザー技術、ターゲット製作・入射技術、炉容器開発等につき進んでいる。本格的な商業化への流れは 2011 年以降に開始すると想定されている。図 8 に、年次進行を示す。

レーザー核融合エネルギー開発のロードマップ

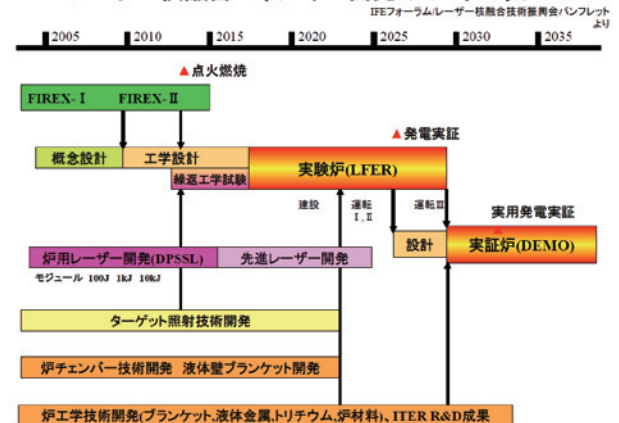


図 8 レーザー核融合炉の実現に向けたロードマップ (年次進行)

3. 「自ら推進する手法の強みは？」

原子力機構、核融合研、レーザー研それぞれが研究する手法の強みを「他と比較して」紹介いただけますか。結論を出すことが目的ではなく、3 者の意見を並記されることが良いと思います。

【松田】研究開発を進めていくと、幾多の難関に遭遇しますが、これ乗り越える知恵の蓄積が重要です。研究開発の成功は論文などにより外部に公表されます。他方、失敗は本来論文としては公にされませんが、そこにこそ多くのノウハウがあります。他者が進めるものから得られる情報は限られること、また自ら研究開発を進めて疑似体験をしていないと他者から情報を得ても本当の理解には達しま

せん。自ら推進してこそ当該分野の前線に立つことができ、またそのような環境はリーダーシップの素地を生むとともに、優秀な人材を集める牽引力があります。さらに、核融合のような総合科学技術で世界のフロントに立てば、その分野のみならず、関連する分野の科学技術の進展を牽引する波及効果が生まれてきます。

核融合に限らず、目前の技術のみが必要であれば、お金を払って外国から技術を導入することは可能であり、また、そもそもわが国にそのような技術がなければ導入以外に方法はありません。核融合は極めてエネルギー資源に乏しい我が国にとって、資源制約がない真の国産エネルギーであり、かつ、環境問題という制約の下で世界にエネルギー技術を提供する最初の、そして恐らく最後のチャンスです。

原子力機構は国が最重要と考えて決めるプロジェクトを推進することをミッションとしています。トカマクという方式の選定はこれが最も核融合エネルギーの早期実現の可能性が高いとして原子力委員会や文科省の審議会など国の議論で決定されたものです。実験炉段階で ITER を「我が国の実験炉として適切」と判断して参加や建設サイトを誘致すべしと決めたのも国の議論においてです。

トカマク方式は磁場構造が単純で、エネルギーを取り出す核融合炉を構想する場合も組み立て、保守まで含めて実現可能性が最も高いものです。また、これまでに達成した成果は、各段階の装置規模毎に期待されてきた以上の成果をあげ、核融合の最先端を切り拓いてきました。トカマクの欠点としてプラズマ中に電流を流し続けることができない、したがって定常運転が困難という古くからの指摘も、外部から粒子ビームや電磁波を入射して電流を流すことができることがこの 20 年ぐらいの間で実証され、さらに、高いプラズマ圧力のもとではプラズマ中に自然に流れる電流（自発電流）が必要な電流の 70～80% を占め、残り分を外部から供給するだけで良いことがわかってきました。また、最近よい成果を挙げている球状トーラスとはトポロジーとして連続的に繋がっており、低いアスペクト比（りんごのような球状に近い形）のトカマクの原型炉も設計されてきております。今後の発電炉に向かう研究開発の方向も磁場の強さ、断面形状、ブランケット方式など幾つかの選択肢があり、最適な設計に向かって研究開発に柔軟性を含んでいます。

平成 17 年に纏めた原子力委員会報告書では、原子力機構はトカマク方式の原型炉を目標とした研究開発をプロジェクト的に進めること、ヘリカルとレーザーは当面学術研究として進め、成果に進展があった段階でその後どのように進めるか国として議論することになっています。

ヘリカルはトカマクと同じトーラス型磁気閉じ込めですが、プラズマ中に電流を流す必要がないなどの特徴がある一方で、トカマクプラズマと多くの共通点があることが分かってきています。これらのプラズマの研究はトーラスプラズマを理解する上で大いに役立っております。研究開発が健全であるためには競争と協力が働く多様性が必要

であり、適切な資金配分のもとでの総合的推進がひいてはプロジェクトを正しい方向に導くとともに、実用化までの総合コストを合理的に抑えることに役立つものと考えています。

【本島】ヘリカル型は、磁力線のねじれを作るためにプラズマ中に大電流を必要とするトカマク型とは異なり、一言で言って無電流のシステムですから定常で安定性が高いことを特長としています。

私は核融合科学研究所の所長ですから、LHD によるヘリカル型の研究の推進に責任を持っていますが、トカマク、レーザー等を含めた核融合研究全体にも大学共同利用機関としての責任を果たしたいと常々考えています。つまり核融合研究においても科学的な基盤が大変重要であり、我が国が自分の力でこれを作ることが大変重要と考えています。どれが一番優れていると言った議論は、過去の研究の幼稚な段階では安易に行われていたことは事実ですが、今ではこの種の議論は研究全体の進展には益しないと強く考えております。

重要なことは核融合エネルギーの実用をめざす研究は、国の基盤をなすエネルギーに関わる研究開発なのですから、独自の科学と技術を持っていないと国としての基礎が大変危ないことになるということです。これは、国際協力を進める場合でも同じです。アイデンティティを持つことの重要性を指摘しておきたいと思います。

【三間】高速点火は世界に先駆けて大阪大学レーザーエネルギー学研究センターと関連する研究グループが本格的な研究を開始したものである。世界の研究の流れを大阪大学を中心とする我が国の研究がリードし、世界的な研究協力で我が国の研究者がリーダーシップをもっている。また、高出力レーザー技術を基盤とするレーザー核融合研究は幅広い光科学分野の中で、産官学の研究開発と連携して進められることが、他の核融合方式に比べて格別の強みである。

4. 「核融合の成功が地球温暖化に与える影響は？」
既存の発電所（石炭火力など）にとって変わること、温室効果ガス排出量をどの程度削減できるのか、見通しを示してください。できれば安倍前首相が提唱した 2050 年をターゲットに、日本が現実的にどの程度減らせるかも紹介ください。

【松田】トカマク型核融合炉では運転開始後は二酸化炭素などの温室効果ガスを排出しません。核融合装置の建設のためには鉄やセメントを必要とすることをはじめ、他のエネルギーを使うので排出量はゼロではありませんが、運転開始後の発生エネルギー量が極めて大きいため、単位発生エネルギーあたりの温暖化ガス排出量は僅かです。これらを含めた総合的な評価がなされており、他のエネルギー源

と比較すると図9のとおりです。

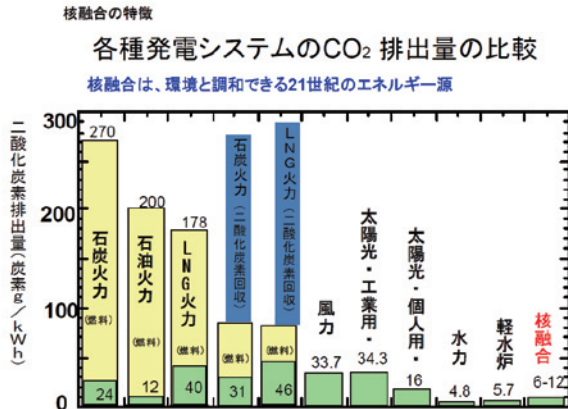


図9 各種発電システムのCO₂排出量の比較。核融合は、環境と調和できる21世紀のエネルギー源。緑色の部分は発電設備の製造・建設過程でエネルギーを消費することによって排出する二酸化炭素、黄色の部分は化石燃料を燃焼する過程で排出する二酸化炭素。【出典「核融合エネルギーの技術的実現性・計画の広がり」と視野としての基礎研究に関する報告書」核融合会議戦略検討分科会，原子力委員会（2000年）】

すなわち核融合炉ができれば、同一の発電量に対して、石油や石炭の火力発電に比べて二酸化炭素の排出量を約25分の1に削減できます。また、太陽光や風力発電などの非化石エネルギーよりも二酸化炭素の排出は少なくすみ、核融合をもし大規模に導入することができ、石炭や石油の消費を減らすことができれば、地球温暖化の抑制に貢献することは間違いがないことです。将来にわたって、人類のエネルギー消費構造を化石エネルギーから二酸化炭素を出さないものに転換すること、これが今、世界に求められている技術なのです。しかし、残念ながらこのような大規模で望ましい究極のエネルギーは簡単に得られるものではありません。開発して市場に参入するには時間がかかります。段階的な開発の最速シナリオでもトカマク型原型炉による発電の実証は2030年代の後半です。その後の信頼性の向上や、経済性の向上を考えると核融合炉が市場に参入できるのは21世紀後半であると想定されます。一方、地球温暖化問題は20年、50年、100年、ないしそれ以上の長期的なスパンで考える必要があります。まして地球温暖化の防止には、少しでも早く二酸化炭素の大気中濃度の上昇を止める必要がありますが、たとえ排出量を半減しても二酸化炭素の濃度は上昇を続け、地球の気候がもとに戻るわけではありません。核融合の本質的な意義は人類が化石資源の消費によらずに繁栄するためのエネルギー技術を、石炭や石油に代って提供することであり、これは他の密度の低いエネルギー源では実現が困難なことです。これからの100年が人類にとって、化石燃料燃焼から二酸化炭素を伴わないエネルギーへの転換の唯一の機会です。もし、核融合が実現し、市場への導入に成功すれば、図9に示すような世界のエネルギー需要（人口増加と発展途上国の生活向上による）に対して二酸化炭素を排出しな

いエネルギー源として必要量の4分の1近い貢献をするポテンシャルを有しています。我が国が化石燃料を使わずに繁栄できる技術があることを世界に示し、その技術を提供することが重要です。

安倍元首相が提唱した2050年の二酸化炭素排出量半減を自国内で実現できる可能性は極めて難しいと言わざる

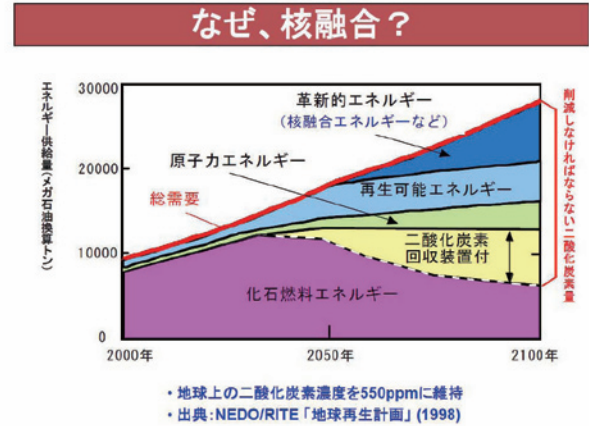


図10 核融合のCO₂削減への貢献

を得ませんが世界全体での努力目標の設定としては正しいと思います。その中で日本の役割は、エネルギー効率向上や温室効果ガスの削減などの環境保護関連技術の開発を進め、自らの排出削減努力を続けるのみならず、CDM（Clean Development Mechanism：クリーン開発メカニズム）などによって世界の排出レベルの削減に貢献することが重要と考えます。当面は原子力の役割増大が必要であり、2050年までの対応には既存技術の適用と改良で対応せざるを得ないでしょう。しかし、これだけでは地球人口の増加や途上国のエネルギー消費の増加に伴う、地球全体のエネルギー需要を賄うことはできません。二酸化炭素を排出しない大規模なエネルギー源が必要になってきます。21世紀後半からは核融合の役割が極めて重要になってきます。そのためには、21世紀前半に、わが国がその技術を実証し、使えるようにしておく必要があります。

【本島】図9を見てください。核融合エネルギー炉はCO₂を出さないエネルギー源ですから、地球温暖化にとってはかなりしれない効果があります。

しかし、日本の国力を考えても1年に1機の核融合発電所を作るのが精一杯でしょう。1機の100万kWの発電所から出るエネルギーを水素エネルギーに変換して車の燃料にする場合を考えて下さい。1日30km走ると仮定して300万台しか走らすことができません。これではとても足りません。

今から28年後の2036年から2050年まででどうがんばっても核融合エネルギー炉を最大14機しか作れないわけですから、今の原子力発電所の数55基よりも少ない数にとどまります。ですから最大でも全体の日本の炭酸ガス排出量の数パーセントを削減する程度の効果があります。こ

の数字は、大変大きな効果があることを意味しますが、50%削減には更に努力が必要であると言わざるを得ません。総合的なエネルギー政策と社会の努力がないととても実現しない数字です。核融合エネルギーに代表される先端科学技術を賢く応用していく知恵とそのための合意形成がぜひとも必要です。

【三間】個人的な意見を述べます。核融合エネルギーは先進原子力として位置づけられる。現在、我が国の電力の約30%が原子力によっている。今後、化石燃料によるエネルギーに代わり長距離送電技術革新による水力発電、風力、太陽電池、バイオマス等の代替エネルギーの比重が増えてくると予想している。しかし、いずれも資源量やエネルギー密度に課題があり、長期的には先進原子力が環境・エネルギー問題の解決策である。高速増殖炉や核燃料処理の技術革新で2050年までのCO₂削減目標の達成をめざすことになると思うが、2050年前後より徐々に核融合エネルギーの比重を増してCO₂削減を引き続き進めていくことになるかと予想する。

また、水素燃料の活用において、核融合は重要な役割を果たすと期待している。

5. 「技術継承をどう進めるか？」

原子力を先攻する学生が減っていると聞きます。豊富な技術ノウハウを持った団塊の世代の大量退職もあります。将来の商業化に向かって研究を加速するため、そうした技術ノウハウをどう引き継ぐのかを明らかにしてください。回答は1者のみでも可とさせていただきます。

【松田】核融合のような長期的な研究開発に対して技術継承をどう進めるかは大きな問題です。技術継承が行われるためには、受け継ぐ技術者が研究開発の前線に置かれている状況が必要です。しかし、核融合は完成した技術ではなく、研究開発途上の技術ですから、伝統芸能の伝承とは違います。すなわち常に新しい課題があつて、そこに人がいること、課題にチャレンジする計画と資金があることが必要です。将来の商用化に向かっては当面のターゲットは核融合原型炉による発電の実証です。これにむかって ITER、ブローダー・アプローチやブランケット開発などの国内計画を進める中で新しい人材が次々に参入してくるシステムが必要です。

人材は単にプロジェクトの中心となる実施機関に集まれば良いというものではありません。実施機関のプロジェクトを纏めるという役割、産業界での装置の製作という役割、さらにプラズマや工学技術に関する学術や科学技術の体系化を進めつつ人材の供給元となる大学などの役割、これらの有機的な結合を通して社会に技術ノウハウが蓄積されていきます。他方、長期にわたるプロジェクトは必ず人の新陳代謝を考えないといけません。そのために、実施機関、産業界、大学のそれぞれにおいて知見や手法の継承発展が必要です。核融合は広範な科学技術の集積のような

ものです。これらを構成する科学的知見や技術を継承し、発展させようとするには各分野においてグループを構成する最低限の人数（活力）が必要で、これを下回らないことが重要です。

このためには国の計画に大きな谷間を作らないことが肝心です。資金の谷を作ってしまうと産業界においても研究機関においても人材が散ってしまい、最低限の人数を確保することができなくなります。こうなると再度立ち上げる場合に技術の継承がうまく行われません。ITER サイト決定に4~5年もの時間がかかり、人材循環のブランクが生じたことが現在立ち上げに時間がかかっている原因です。欧州は計画の節目に来てても一定の核融合予算を確保し（EUの核融合は4年計画）、核融合全体の谷ができないように工夫しています。日本の場合、大きな計画から次の計画までの資金的継続性がありません。谷を作らないためには国としての次の計画を早く立ち上げることが重要です。産業界も ITER に続く計画が見えなければ ITER に人材を投入する動機が見つけにくくなります。その先の筋道が見えてこそ次の世代を担う優秀な人材を投資として投入し、創造し、習得した知見が次の計画に生かされるというものです。したがって、わが国として大事なことは原型炉に向かう計画が早期に実現に向かって走り出すことだと思います。国民の支持を得ながら学会が関連学会とともにこの方向に向かって意見が集約できれば大きな力になると思います。

【本島】これは、前項にも関わる議論ですが、技術の継承のためには長期的なエネルギー政策が必要になります。日本の社会が生き延びていくためには大変な努力が必要です。LHD 実験では次のステップに備え特に物理面の研究に主眼を置くとともに、工学面についてもオールジャパン体制により研究を推進しております。ITER 計画にもしっかりと関与していくことも重要です。シミュレーション科学と技術を駆使してのニューメリカル・テストリアクター・プロジェクトを立ち上げ中ですが、これもヘリカルが存在意義を高めることに役立ち、結果としてトカマク計画、つまり世界の実験炉計画 ITER へ貢献することになると考えています。これらの努力が結果として、技術の継承に繋がるはずで、そのためには超伝導、マイクロ波応用など、産業と社会インフラへの活用を進めつつ、国としてのビッグサイエンス戦略を定め、研究の基礎をしっかりと持つことが重要です。

【三間】国策として技術者集団の活動を支える研究開発拠点を設置することが不可欠です。また、産学の人材の循環を可能にするためには核融合科学の基盤を出来る限り広げる努力をすることが研究者サイドには求められます。そのためには、核融合科学技術研究が他分野の科学技術研究と常に連携するように心がけるべきです。たとえば、超伝導開発、高出力レーザー開発、材料開発等において、他分野での開発課題との共通点をいつも意識しておくことが

大変重要で、

6. 「核融合が実現する社会とは？」

核融合の実現によって、どんな社会的なメリットがありますでしょうか。一般雑誌のような見方ですが、各研究機関のトップがどう考えているのかが、読者層である若年層に響く可能性があります。

【松田】核融合の実現はすでに述べたように、エネルギー問題と地球温暖化問題を同時に解決する具体策を提示できることが最大のメリットです。人間が生活するためにはエネルギーが必要です。そのエネルギーは化石燃料のように化学反応を利用するものと、原子力発電や核融合発電のように原子の反応エネルギーを利用するものがあります。同じ重さの燃料では原子のエネルギーの場合は化石燃料に比べて 100 万倍以上のエネルギーを出すことができます。他方、化石燃料がもたらす温室効果ガスも、原発から出される燃えかすの放射性廃棄物もこれらの反応の結果出てくる廃棄物です。どのようなエネルギー源も必ず廃棄物を伴います。今、化石燃料がもたらす廃棄物が自然界で取り扱える規模を超えてきつつある環境問題をもたしています。発展途上国を含めて原子力の利用拡大が必要です。一方、すでに我々が手にしている技術である原子力は半減期が非常に長い高レベル放射性廃棄物の管理や軍事やテロに転用されないように核不拡散の問題があります。この問題を国内的、国際的に取り組まないといけない。核融合は燃料資源の問題はなく、発生エネルギーは膨大であり、燃料の燃えカスはヘリウムガスなので、長期間の管理が必要な高レベル放射性廃棄物は発生しません。（ただし装置は放射化するので、低レベル放射性廃棄物は発生します。また、燃料のトリチウムは放射性物質なので漏れないような対策が必要です。）運転停止後、解体して出てくる低レベル放射性廃棄物は 50～100 年程度管理すれば、安全に再利用できるレベルになるので、処理が比較的容易です。また、核融合は連鎖反応が起きないので、原理的に暴走することはなく、潜在的なリスクが少ない、安心度の高いエネルギー・システムです。

問題は、このような究極的なエネルギーは容易に得ることとはできないところにあります。研究開発に時間と資金と、また何よりも多くの熱意あふれる人々の取り組みが必要となります。プラズマに関する物理的な課題から核融合炉を構成する機器やサブシステムの開発、またそれらを統合し、ひとつの装置に纏め上げる統合作業など、経験者の知恵と若い人たちのチャレンジ精神や創造性、柔軟性の結集が必要となります。国民の支持を得てこれらの計画が進められれば凡そ 30 年で核融合発電を実証することができるでしょう。ITER に世界人口の過半数の国々が参加するようになったことは、長期的なエネルギー環境問題に対する核融合への期待の表れだと思います。

【本島】今天文学者の夢の一つに宇宙高度文明を探すこと

があります。チリのアタカマ砂漠に建設中の国際 ALMA 計画もスピンの持つ水分子の出すサブミリ波を検出して生命体の糸口を見つけようというプログラムが入っています。

数万光年先の宇宙に高度文明の兆しが見つかった場合、確率論的には先方の宇宙文明が 1 万年以上続いている可能性が高いことを意味します（ドレイクの法則）。

そうでないと発見できないからです。そして、このことは地球の文明も 1 万年以上続き得ることを証明することに近い発見となります。

そこで考えてください。その文明はどういうエネルギー源を持っているか。必ずや核融合エネルギーを実現していることでしょう。

核融合エネルギーが実現した暁には、海水から燃料となる重水素とトリチウムを再生産するためのリチウム等を無尽蔵に取り出すことができます。そして、ウランを使う原子力とは異なり高レベルの放射性廃棄物を発生しません。これは何を意味するかというと、一つ核融合エネルギー炉を作るための 1 万 5 千トンにのぼる鉄等を中心とする材料を 50 年間核融合エネルギー炉として使った後又再利用することができることを意味します。低放射化材料の開発の重要性はここにあり、50 年から 100 年の後に放射線のレベルが下がったところでまた溶かして使えるわけです。

ですから、核融合エネルギーは循環型のエネルギー資源となります。石油のように one through ではないということの意味は大変大きいと思います。

【三間】原子力は究極のエネルギー源であり、今後 100 年、1000 年の人類の活動を支えてゆくために不可欠です。特に、核融合は核不拡散などの安全保障の観点より人類の長期的な原子力エネルギーとして不可欠なものです。また、資源地域的な偏在がないため国際紛争のない社会の実現を可能にします。特に、コンパクトなレーザー核融合発電所は居住空間に隣接して分散的に設置可能となることで自然災害等に強い社会を作ることと可能にします。

7. 「核融合研究が生んだ身近な『発明』は？」

【松田】これまでに JT-60 や ITER の工学設計活動を通して得られた産業や生活分野に応用されている技術だけで一冊の本になります。その中のほんの 1～2 例をご紹介します。

現在多くの病院で使われている MRI の超伝導コイルはニオブチタンが線材に使われていますが、この線材の品質が格段に向上したのは 20 年ほど前に国際協力で我が国が参加した核融合大型コイル計画（LCT 計画）で、大型超伝導コイル用に大量のニオブチタン線材を開発し、製作したからです。また、より強い磁場を出すことができるニオブ・スズを使う超伝導コイルは ITER の工学 R&D コイル用として新たに素線から開発され、大量の素線の製造によ

り、品質の高い製造技術が確立しました。これらは高分解能のMRIなどに適用が広がりつつあります。

もう一つの例は真空技術の産業や科学技術への波及です。核融合の燃料ガスに使われる重水素とヘリウムガスは質量数が同じなので、通常の質量分析器では区別が困難です。核融合真空技術の研究によりこの区別が明確にできるコンパクトな超高分解能の質量分析器や、固体に付着した極微量の不純物ガスを測定できる装置が開発されました。この開発により、産業用ガス分析の応用が広がり、医療への応用としては呼吸に含まれる分子の同定による健康状態の診断や、自動車のエンジンやパーツに使われる再生アルミの純度管理に自動車産業界から多くの引き合いが来ています。また、核融合炉の燃料水素と燃えカスのヘリウムを選別しながら排気するシステムの開発は、半導体製造の加工・洗浄工程で使われる地球温暖化フロンガス（パーフルオロ化合物）を室温で連続分離回収する装置の開発につながり、実用化に向けて産業界と共同で試作プラントが作られつつあります。

【本島】核融合研究は、科学と工学のインテグレーションを必要とするビッグサイエンス研究です。多くの技術のスピノフが可能です。

一例を挙げると電子を一億度に加熱するために使うマイクロ波技術を使って、陶磁器やセラミックの焼成をする技術の成功があります。

【三間】直接的間接的に、レーザーの発明直後よりレーザーの高出力化をレーザー核融合研究が駆動してきた。その結果生まれた高出力レーザー技術は、レーザー溶接、炭酸ガスレーザーによる加工、半導体リソグラフィ光源等に活用されている。

●個別質問【原子力機構】

1. 情報発信が弱い。

フランスがITERを誘致することに決まった段階で、情報発信力が急激に弱まった印象を持っています。

【松田】誘致の前の情報発信と決まった後からの発信とは情報の対象が異なります。決まる前までは一般の方々の支持を得ることが重要であり、決まった後からは実施に参加する研究者や技術者向けの情報はかえって多くなっています。後者の具体的な例として核融合エネルギーフォーラムでは情報の発信が格段に多くなっております。これは核融合の関係者に対する発信のみならず、高校生や一般への発信も「社会と核融合」という活動を通して行っております。

しかし、一般の人達への発信はまだ不足していて、一般国民の多くの関心事となるにはメディアの協力なしには現実的には困難です。国民およびその代弁者であるメディアの方々がどのような点に関心を持っておられるかを常に問いかけながら、情報を発信していく必要があると

考えており、今回の企画もそのような観点から行いました。

2. オールジャパンの体制はあるのか？

将来の核融合実現を担う巨大プロジェクトのはずなのに、国民の関心が薄れるのではないかと不安です。オールジャパンの推進体制はできていますか？

【松田】オールジャパンの推進のために2007年4月、核融合フォーラムでの議論の場をさらに強化し、ITER/BAを特別に議論する場を新たに設けた核融合エネルギーフォーラムを発足させました。

大学との連携協力も進みつつあります。たとえば、那珂市にあるJT-60では実験の企画の最初から大学人の参加により共同で実験を進めています。これらの連携からITERが実験を開始したときに我が国の研究者が主導的な役割を担うことができるように、若手育成に重点を置きながら、今から準備を進めているところです。JT-60が改修されて超伝導のJT-60SAとなれば、新しい領域で実験が可能となりますが、ITERを除けばこのクラス世界で唯一の装置となるので、ますますこの装置の重要性が増します。ITERのサテライト装置としての役割が重要です。

このように、ITERが決定された後も理解増進に向けた努力を継続しておりますが、ITER誘致の頃の情報発信力が発揮できないのは事実であり、あらゆる場を通して、研究コミュニティ全体で努力する必要があると認識しております。

3. ITERへの体制は、不十分ではないのか？

六ヶ所村に建設する関連施設は、一説によると、人件費にまわす資金も、ポストもないと聞きます。大学の職を投げうって、自費で参加する研究者がいるのか疑問が湧きます。総額2000億円の巨大プロジェクトであるにもかかわらず、体制が整っていないのではないのでしょうか。

【松田】日欧で実施する幅広いアプローチは六ヶ所村で実施するものと那珂市で実施するものとがありますが、日欧の総額で10年間、920億円相当の事業です。そのうち過半数が六ヶ所で実施されます。総額で2000億円というのは何かの間違いです。日欧の事業はITERとは異なり日欧が既に持っている人的資源の活用を前提に考えられたものなので、その中で新たに雇用する人件費までは考えられていません。（ただし、共同チーム員となる若干名の研究者・技術者の人件費と、実験補助や計算機システム運転員などの開発を支援する人たちの人件費は考えられています。）したがって、これによって多くの研究者の雇用が生み出されるわけではありません。「大学の職を投げうって、自費で参加する」ということは想定外です。大学等からの参加は共同研究、連携協力という形によって可能ですし、また、大学の職を辞して原子力機構の職員になり、幅広いアプローチに参加するということはもちろん可能です。

課題として考えなければならないのは、幅広いアプロ

チ活動を我が国全体のレベルの向上に繋げるために、これらの研究に参加する人材の流動性を高める必要があることです。このために必要な競争的資金の確保など、各研究者の自助努力と国としての支援が必要になってきます。また、大学人にとっては数年 ITER や BA に参加し、戻ってきたときの職の確保や、参加することがキャリア・パスとなるかが問題として挙げられています。ITER や BA に参加することは世界への貢献として研究者・技術者自身の足跡を残すとともに、それ自体大いに自己を啓発することになると確信します。これらの問題は日本の社会全体が欧米並みに雇用の流動性が生まれてくれば問題は無くなるのですが、過渡的な状況では緩和策も必要となります。たとえば、身分は出身母体に置きながら研究に参加するなど多様な形態が考えられます。共同研究や連携協力はその手助けをしますし、一昨年あたりから議論され始めているように大学や核融合科学研究所が六ヶ所村に分室をつくり、そこを拠点として BA 活動に参加したり、或いはより広い関連研究を実施するなどの計画が着々と進みつつあります。

4. ITER にかける「覚悟」は？

将来の実用化を見据えて、ITER にかける「覚悟」はどの程度のものなのでしょうか。

【松田】ITER は今後の核融合エネルギー開発にとって不可欠のものです。核燃焼プラズマの制御ができて将来の実用化を描くことはできません。今必要なことはまずは ITER を建設することです。2007 年 10 月に日本の実施機関に指定された原子力機構は核融合研究開発部門に ITER 建設に向けた組織を既に立ち上げてきており、ITER 機構発足と同時に、参加国で最初に、ITER 機構との間で日本が分担する超伝導コイル関係の調達取り決めに結びました。またそれに基づいて国内産業界に発注の準備を進めてきています。原子力産業協会を通して国内産業界と ITER に関する情報交換も精力的に進めています。

他方、ITER の建設を取りまとめる国際機関である ITER 機構の方は組織に必要な人材の公募を行っています。建設段階なので、研究者よりも産業界の技術者が多く求められています。採用されると ITER 機構の職員となります。ITER 機構は機構長の指揮のもとで ITER の建設に責任を負います。この国際共同事業は現在 7 カ国が参加して行われるため、スポンサーの集まりである理事会においても我が国の判断だけで物事が決まるわけではありません。また、意思決定に相当な労力と時間を要します。さらに今後一時的に資金の分担が困難な国も出てくると想定されます。しかし、そのような場合でも参加国が協力し合って装置を作り上げて行くことが重要です。

ITER は国際協力に基づいて、ITER 機構という国際機関が実施の主体となっています。したがって、その成果は人類が共有するものです。我が国は、この ITER の建設期間において、ホストである欧州を除いて最も大きな貢献をし、国際共同事業において重要な役割を担うことになります。

さらに日欧協力で我が国において進める幅広いアプローチ・プロジェクトを有機的に連携させ、ITER の運転期間においても主導的な役割を担うことになると思います。このように進める事によって、国民に利益を還元するとともに、我が国において次のステップとなる原型炉に向けた展望を切り拓けるものと考えています。

個別質問【核融合研】

1. ヘリカル方式の存在意義は？

ITER はトカマク式が採用された。安定性に優れるといわれるヘリカル方式の存在意義が問われていると思います。所長の考えをお聞かせいただけますか？

【本島】ITER は実験炉としての役割を持っています。したがって、 $Q = 1$ にいち早く到達したトカマク型で D-T 核融合燃焼を実証しようとするのは当然のことといえます。ITER を成功させて実証炉のステップへ移るためには物理面では定常化、高ベータ化、プラズマと壁との相互作用の研究が更に必要であり、炉工学的には低放射化材料開発とブランケット開発が必要になります。ヘリカル方式の存在意義はここにあります。つまり、実験炉の先を見通しての研究であるという点が最も重要な点です。トカマク型である ITER による実験炉計画については、ITER で実施するからもう次のステップではやらなくても良くなるという、完成度を十分に上げられる研究成果が一つでも多く出てくることを望んでいます。

2. トカマクとヘリカル研究者が英知を結集しているか？

核融合の早期実現をめざすのであれば、トカマク式とヘリカル式の研究者が英知を結集することが一番の早道だと思うのですが、なぜそれができないのでしょうか。

【本島】現実には英知を結集して研究を進め、1 日も早い核融合エネルギーの実現に努めています。一般論としての選択と集中は一見効率的に見えますが、そのアンチテーゼとして、産業革命が 150 年前のイギリスで地方分権の社会から生まれてきたということを見ますと、科学技術の世界の一極集中は終わりの始まりを意味します。今トカマクとヘリカルを研究者の英知を結集して進めることは実用炉の実現をめざす上では相互の連携も可能であり、むしろ早道であると言えます。

3. ヘリカル方式は、次の選択肢となりうるのか？

仮に ITER 計画が予定どおり進まなかった場合、同じ磁場方式は「次」の選択肢となり得ないかと思うのが自然だと思いますが、見解をお聞かせください。

【本島】世界が英知を集める ITER 計画が予定どおり進まないことは、想像だにしていませんから、「次」の選択肢といったことを考えたことはありません。

4. 燃焼制御もトカマクより安定なのか？

プラズマ中に電流を流すトカマク式に比べて安定性が高いのがメリットですが、燃焼制御の安定性もトカマク式より優れていると言えるのでしょうか。

【本島】デモ炉を考える場合、燃焼制御の面は特に重要になります。LHD では近年、目標の 10 倍の密度である 1000 兆個/cc を密度拡散障壁(IDB)の実現で達成しており、図 11 のとおり、高密度運転のシナリオを新たに開拓しました。この図のトカマクのアプローチと比べると違いは明白です。この高密度では、熱的な不安定がおこるのですが、PID (Proportional Integral Differential) 制御を高度に活用して、これを克服できることを理論的にもすでに実証しています。今後の研究で予測制御をさらに取り入れることも可能になるでしょう。より低温で核融合燃焼が実現できることのメリットは大変大きいと言えます。

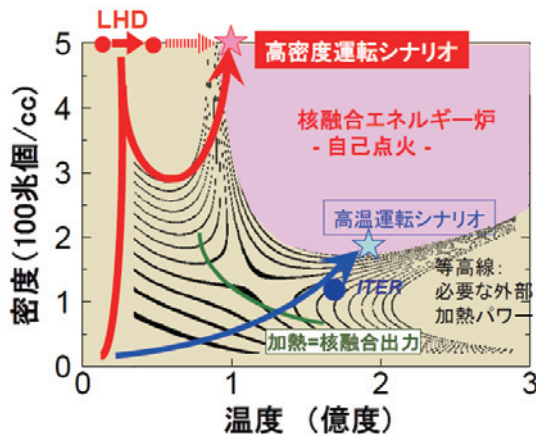


図 11 核融合エネルギー炉の点火条件と高温・低密度燃焼制御

個別質問【レーザー研】

1. 水爆との関係は？

米仏でレーザー研究が進む理由の一つに、水爆との関わりがあると聞きます。日本でそのような技術を導入することに抵抗を感じる人も多いと思うがいかがでしょうか。

【三間】公式見解は、核爆発の定義によります。核不拡散とレーザー核融合との関係が取り上げられたことが有ります。そのときの考え方は、真空容器の中での核融合燃焼は制御されたものであり核爆発に相当しないとの見解をとりました。この点は、制御された核分裂と制御された熱核融合のいずれも平和利用と見なされることを意味しております。米仏の大型レーザー装置は国防目的の研究にも利用されると承知しております。国防目的の研究は国家機密として公表されるものではありません。公開された場でレーザー核融合エネルギー開発研究が進められる限り問題はないと考えています。

2. なぜレーザー方式は主流になれないのか？

国内の核融合研究でレーザーが「主流」となりえない理由をどう考えておられますか。

【三間】主流になりうるものと考えております。高エネルギー密度プラズマ研究の広がりや高出力レーザーの研究コミュニティの広がりとがレーザー核融合研究を我が国における核融合研究の“主流”にする上で不可欠と考えております。

3. 幅広い応用との連携は？

レーザーの高度化は、他の産業や医療など幅広い分野で求められていると思うが、連携することはないのですか。

【三間】産業、医療などの広い分野でレーザー利用が進んでおり、光科学の比重が増している。レーザー核融合やレーザー加速器等の高出力レーザーの応用研究は光科学の大型研究と位置づけられており連携研究が盛んになっている。原子力機構関西光科学研究所、レーザー技術総合研究所、光産業創成大学院大学、次世代半導体製造技術開発研究組合、等との連携で具体的な連携研究やプロジェクトが進行中である。また、先端研究施設共用イノベーション創出事業により、高出力レーザーの産業応用創出のためのプログラムが平成19年度より開始している。

4. ITERへの協力は？

同じ核融合の研究者として、ITERに協力する体制はあるのでしょうか。

【三間】大阪大学では、レーザー核融合に関連する研究グループは、工学研究科等の教員として大学院生の教育にあたり、人材養成組織としてITERの成功に貢献する。また、核融合科学研究所との連携を強めており、核融合分野の大学共同利用機関につながる研究組織として協力する。

5. 高速点火への「覚悟」は？

高速点火にかける「覚悟」はどの程度のものでしょうか。

【三間】大阪大学レーザーエネルギー学研究センターでは、FIREX-I プロジェクトを、双方向型共同研究により核融合科学研究所と連携するとともに、関連する学内外の研究グループと協力して高速点火の実現に向け最大限の努力をしている。

【対話参加者のプロフィール】 (発言順)

小林健次 (こばやし けんじ)



平成 11 年学習院大学法学部政治学科卒, 日本電気協会新聞部(電気新聞) 入部. 編集局, 東京支局を経て, 平成 18 年から編集局報道室. 電力中央研究所と地球温暖化問題を担当した後, 平成 20 年 7 月から電力自由化担当.

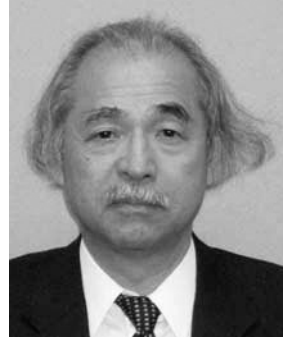
新聞記者という「素人の代表」として, 先生方には不躰な

がら, 率直に疑問をぶつけさせていただいた. 1 回のやり取りですべてを解消することは当然できないが, 核融合の現在と未来を知る貴重な機会になった.

各方式の「ライバル意識」のようなものが垣間見えたのも, 興味深かった. 互いの切磋琢磨が, 核融合の研究を促進する原動力になるのだと思う. その一方, 核融合の研究を社会に受容させるには, やはり方式の違いを超えた「マスの力」がものを言う. 各先生とも関係各所との連携・協力の重要性は指摘されており, もう一步踏み込んで具体策をお聞きしてみたい. まだ, 対話は始まったばかりだ.

核融合の研究は, 高い志をもって進められている. エネルギー安全保障問題と地球温暖化問題を同時に解決するという最終目標は, 3 つの方式とも共通するものだ. それぞれの研究者達が積極的に意見交換することで, 夢の実現はさらに一步近づくだらう. 残念ながら, 核融合が切り開く未来を私たちが見届けることは難しそうで, 志を次世代に引き継ぐことは今後ますます重要になる. 今回を手始めに, 核融合と, さまざまな主体との対話が進むことを願ってやまない.

松田慎三郎 (まつだ しんざぶろう)



昭和 44 年京大工電気第 2M 修了, 同年原研入所. マルチポール実験, トカマク建設, NBI 開発を経て平成元年より核融合実験炉に関係し, ITER の国内チームリーダ, 那珂研所長, 原研理事を経て現在原子力機構執行役. 専門は若い人たちの下支えとスキー.

本島 修 (もとじま おさむ)

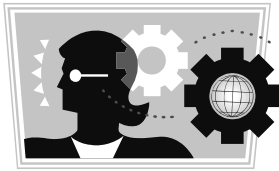


昭和 23 年 12 月 5 日京都に生まれる. その後, 父親の仕事の関係で茨城県に移り, 中学, 高校時代を過ごす. 昭和 42 年水戸第一高校卒業し, 京都大学理学部に入學する. 昭和 46 年に京都大学理学部物理第一教室を卒業し, 同大学院理学研究科修士, 同大学院工学研究科博士課程と進学し, 昭和 51 年博士号取得, 京都大学助手となる. 昭和 62 年に京都大学ヘリオトロン研究センター教授となり, 名古屋大学プラズマ研究所教授を経て平成元年に核融合科学研究所教授に就任する. 研究主幹として大型ヘリカル装置実験計画の責任者をつとめ, 平成 15 年 4 月から核融合科学研究所長に就任し, 現在に至る. 専門はプラズマ物理学および核融合エネルギー工学. 300 件を超える論文を発表しているほか, スウェーデン王立工科大学からアルペン賞を受けるなど核融合科学分野で活躍中. 趣味はテニス, 読書など.

三間図興 (みま くにおき)



昭和 48 年京大理博士課程物理一専修了. 昭和 59 年〜平成 16 年: 大阪大学レーザー核融合研究センター 教授. 平成 7 年〜平成 11 年: 大阪大学レーザー核融合研究センター センター長. 平成 17 年〜現在: 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター センター長.



「核融合の現状と将来」

－ 産業界から見た核融合 －

この記事は、プラズマ・核融合学会が核融合研究 50 周年を記念した一連の企画のうち、我が国の「産業界から見た核融合」に関する座談会の記録である。黎明期における産業界の役割、黎明期から ITER 計画立案へ、核融合技術をどう考えるか、これからの開発をどう進めていくか、について忌憚のないところをお聞きする貴重な機会となった。座談会は、2 時間半余りに亘って行われたため、その記録は膨大であったが、紙面の都合もあり担当委員の責任において割愛した箇所も多かったことをお断りする。（なお、この章で言う「黎明期」は当座談会での産業界から見た黎明期である）

日時：平成 20(2008)年 1 月 18 日（金）13：30～16:00

場所：電力中央研究所 大手町本部

出席者（敬称略）：石塚和雄（原子力産業協会 常務理事），上之菌 博（財団法人電力中央研究所 元専務理事，名誉特別顧問），近藤光昇（株式会社東芝／原子力産業協会 ITER・BA 対応検討会主査），晝馬輝夫（浜松ホトニクス株式会社 代表取締役・社長），＜座談会担当＞ 田中 和夫，相良 明男，藤田 順治，岡野 邦彦（司会：電中研）

【黎明期における産業界の役割】

岡野：まずはじめに、1970 年代、1980 年代と現代との開発環境の違いなど、そういったことへのご意見を伺えればと思います。

例えば 1970 年ころから、プラズマ研、原研等で相次いで核融合実験装置が製作されてきたわけです。黎明期の産業界の役割分担は、こういったものだったのか聞かせてください。

近藤：JT-60 の完成までというのは、産業界、特に重電 3 社を中心に始まったのですが、そのころの核融合開発の黎明期には、核融合の技術者というのは企業の中にはいませんでした。

それで当時、各大学で小型装置がいろいろ作られまして、逆に産業界は、その大学の先生に教えてもらいながら、お手伝いをしていました。

そのような経験を積み重ねていった結果として、各企業

に核融合技術者が自然に育成されました。JT-60 などの大型の装置では、基本的な設計製作、試験、現地据え付けまで、すべてを通して請け負ってシステム設計まで担うことが産業界の役割になってきました。

一方、当時の欧米に目を向けますと、同じ時期に建設されたものとして米国のプリンストン・プラズマ物理研究所の TFTR があるのですが、これは研究所の中に工場を持っています、研究所自身がシステム設計から発注のための構造仕様書までを作成するという役割をもっています。したがって米国の産業界は、その構造仕様書に基づいて製作を担う役割だけしかなかったという状況です。

最近は韓国に KSTAR 装置が完成したという話も聞いていますが、韓国ではもっと踏み込んで、超伝導コイルそのものも基礎科学研究所が製作しました。そのために、サムソンの工場と技術者を全部引き取ったそうです。

いずれにしても日本だけが少し産業界の関与の仕方が関係諸国とは違ったかなと思います。

上之菌：外国では研究所のそばにワークショップ（工場）があり、そこで研究開発の機器を自ら設計・建設をするということをやってきた。それに対して、日本では最初から民間に発注して、その段階から民間と一体になって開発してきた。そこが日本の 1 つの特徴ではないかというふうに思っています。

藤田：そういう民間と大学あるいは研究所との繋がりがあってというのが、お互いの信頼関係を形成し、お互いに良い物を残



正面向こうから時計回りに上之菌，晝馬，石塚，近藤，相良，岡野，藤田，田中，の各氏

していこうという、黎明期にはそういう気持ちがあったのじゃないかと。本当に世界的に見ても一つの特徴じゃないかという気がしますね。

岡野：原産（原子力産業協会）では当時、核融合に関連する活動はどのようなものだったのでしょうか。

石塚：原産が核融合に関係したのは、1958 年に開かれた国連の第 2 回ジュネーブ会議において、核融合に関する日本側論文の公募に協力したことがきっかけです。その翌年にジュネーブ会議での核融合発表論文に関するセミナーを開いています。

その後、山本賢三先生を座長にお願いして 1980 年に核融合技術懇談会を設置して議論してきました。懇談会には電力、メーカー、建設、研究機関、全部入ってやってきたのです。この懇談会では主に産業界の立場から核融合研究開発の現状評価や技術的課題、そして民間としては何ができるかということを検討していました。これまで 3 次にわたる報告書をまとめ、国や関係者に意見や提言を行ってきております。

岡野：レーザーの開発については晝馬さんの会社はどういう対応をされたのですか。

晝馬：我々の場合には、「こういう物を作って持ってこい」と言うだけでです。光はまだわからないことが多いので、光の新しい性質を肌で感じられる研究は値打ちがあるだろうと思って、受けるわけです。

上之菌：少なくともレーザー研に関しては晝馬社長がいらっしゃったから実現できたと思います。こういう企業家がおられたから。そんなものやれるかって言ったら、おしまいだったのですね。

晝馬：どうやってやるか教えてくれれば言えば楽でしたね。そんな理屈はどこにもないのですから。

わが国は、明治以来、欧米の技術や産業の真似をしてきたんですね。わが社は、高柳健次郎の人類未知未踏を追求する精神を受け継いでいるので、できないことを何とかしてやらないかんとすることが身に付いています。

名古屋大学プラズマ研究所（当時）の山中龍彦さんがアメリカのストリークカメラを割ってしまった。中央研究所所長の鈴木義二が「似たようなものならできると思う」というので作ったのですけれども、測定に使えるパルス幅の短いレーザーがなかったのですね。

その年、ロンドン南部のブラントンで開催された国際学会でローレンス・リヴァモアのラマー・コールマンさんが、「日本でストリークチューブを作っているのか。一度俺のところを見に来い」と。あの当時はむきだしで、これがレーザー核融合というものなのかと。

リヴァモア研究所には、パルス幅の短いレーザーがあるので、日本に帰って大急ぎで金型から 2 ヶ月ぐらいで作って持って行きました。一週間程大変親切にいろいろやってくれて、瞬間法で取った写真を持って意気揚々と帰ってきました。

こんな具合で、わが社の開発には、未知未踏をやれって言ってますから、「こんなのがほしい」と言われると何とか

してやってしまうんですね。

上之菌：私は、黎明期においての核融合開発は非常に楽観的だったという感じがするのですね。その始めの方々が楽観的なことをやっていたのは、功罪両面あると思うのですが、やはり大きな夢に向かって皆さんが非常に情熱を持って努力してきたということがあるのですね。

そのことが、日本が世界のトップランナーとなっている今の状況につながっていると、いつも、私はそう思っています。

【黎明期から ITER 計画立案へ】

岡野：INTOR 時代を経て、1987 年には ITER 時代へと入ります。CDA、EDA を経て、立地の誘致合戦が始まり、やっと 2005 年 6 月にカダラッシュの立地が決まります。産業界は ITER 計画にどのような役割を担ったのか、またその間に産業界では何が変わっていったのかお聞きできますか。

近藤：1980 年代後半の JT-60 建設のころからどう変わってきたかということからお話しさせていただきます。

JT-60 を建設した当時は重電・重工がだいたい関与していたのですけど、500 人の技術者がいました。JT-60 まではやはり欧米の研究機関のほうが先行していましたので、各社とも本当に追いつけ、追い越せで、例えばアフターファイブには定期的に仲間と輪講をやったり、論文の抜粋を作ったりとか、本当に燃えていた時代だったのです。

特許も、当時は、半期最低 2 件出願がノルマでした。その中から有力特許も出てきていました。

1980 年代に JT-60 を建設して、産業界では核融合技術者というのがかなり力をつけてきました。今度は、10 年という間隔で、1990 年代には LHD の建設がありました。ちょうど若手の技術継承も含めて JT-60 の建設経験を生かして、LHD の建設につながりました。さらに、LHD の建設と並行して、ITER 計画の工学設計というのが始まりました。

産業界はそこで何を考えたかということ、LHD の後の 10 年後がちょうど ITER の建設時期になっていたのも、逆に ITER の国際チームに各産業界からはそれぞれエース級をどんどん派遣させて、なるべく日本のアイデアを ITER に活かそうというような意気込みを持って参加しました。



晝馬氏

岡野: その当時は、産業界としても相当な意気込みだったのですね。

近藤: 特筆すべき点は日本から派遣した技術者の50%が産業界からである点です。日本以外の国からは産業界からの技術者は非常に少なく、研究機関からの研究者出身が多数を占めていました。また、工学設計活動期間中の7大R&D（註：超伝導コイル（中心ソレノイドコイル、トロイダルコイル）、真空容器、ブランケット、ダイバータカセット、遠隔保守（ブランケット、ダイバータカセット））においては、大きな技術課題を何とか克服して期限内に所定の成果を出すことができませんでした。1998年に工学設計段階というのが終わりました。終わった段階で技術者は会社に戻ってくるのですが、戻ってきたら今度は建設のキーパーソンとしてその人を活用するというシナリオもありましたので、そういうことで戻ったのです。

しかし、1998年の橋本内閣のときに、今世紀中は大型プロジェクトをすべて凍結するとされ、その中でITERは名指しでフリーズしますと宣言されたのです。それを契機にちょうどバブルも崩壊し、1998年から産業界への発注というのが全部なくなったのです。

岡野: 1998年とかこのITER・EDAをやっている頃までは、割とうまくいってたんですね。産業界にも毎年適切な発注があって、LHDもありましたよね。

上之菌: お金が行っただけですか。産業界がこういうふうに開発して、こういう努力をしたということは、あまり評価されていないのではないのでしょうか。

岡野: いや、ITERでは、ITERのほうに産業界から多くの人が行って、実際に設計図を描いたり検討したりしていただいた。

ITERがいったん切れた後、建設がやっと去年決まりましたけれど、その空白は、私の感じでは8年か10年近くあったのです。その空白が非常に産業界を核融合から離れさせてしまったというか、離れざるを得なかったと感じています。この10年がまさに空白の10年ですね。

近藤: その結果、重電・重工の技術者というのが、JT-60のときにだいたい500人ぐらいで、LHDのところで300人ぐらい、それが途端に50人になったのです。結局、優秀な核融合の技術者ほどほかの分野へシフトされました。

実はITERの工学設計のときに、7つの大きなR&Dがあったのです。そのR&Dをちゃんと達成させないとITERの建設のゴーサインが出ないといったR&Dだったのですけれども、日本の産業界が7つのうち4つをやって、世界的にもかなりいい成果を出したんです。ただ、ちょっと不幸なことに、国際協力に携わることで、日本のメーカーというのは死にものぐるいで開発にあたったのですが、結果、契約金額に対して大幅な赤字が出るころまでいってしまったのです。それをデフレのときに見るとすごい赤字になって、研究成果はいいけど、社内的には完全に核融合に逆風が吹いてしまったのです。

そこで、どんどんリストラが進み、本当に研究成果はよかったのに、泣きながら早期退職していった技術者もいまし

た。本当につらい時期があって、それがずっと2005年ぐらいまで続いてしまったのです。

岡野: 原産ではこうした状況をどう見ておられたのでしょうか。

石塚: 今おっしゃられたとおり、私も1990年代の終わりまでと、それ以後の状況というのはちょっと違うと思っています。

原産はいろんな学会と政府と産業界をつなぐ役という形でやってきたわけです。ITERのEDAが行われていた90年代までは、私のみるところ、国の契約も、それなりに、きちんとして、それで産業界とも連絡を取りながらやってきた。メーカーも具体的に計画をみて、それに応じて、投資をして、人も育てることができた。その当時は企業の財務的な持久力もあったのでできました。そういうことを、やりながら、2000年まではできた。

しかし2000年頃からだんだん状況が厳しくなってきたと思います。ITERも立地もなかなか決まらない上、そのあとの大型プロジェクトはないのです。それが無いということは、産業界はなかなかついていきにくい。先も見えない、仕事もない。そういう状況です。

田中: 2000年に何がなくなったのですか。

石塚: 2001年に省庁再編が行われて、原子力研究開発機構ができたのは2005年、この5年間は、将来に対する政策決定が不透明な状況であったということは否めないと思うのです。それが一つです。それから、やはりこの2000年から5年間の間というのについては、実質的にメーカーのほうに仕事が行ってないのです。

産業界というのは、やはり実際に仕事をし、ものを作り、その中で人を育て、事業につながってくるのです。その時間が7年も続いてしまったら、人材確保・育成への気運はなくなってしまう。JT-60の時代は、年間予算が400～500億円あったはずですね。それで、民間の売上げも200億円以上あったわけですから。そういうとき、今や100億を切って、30億から50億という段階の中で、同じことを民間にやれというのは無理ではないですかということです。

上之菌: 大学は国立大学法人に、核融合研は大学共同利用機



左から石塚氏と近藤氏

関法人に、また国の研究機関は独立行政法人になった。それによって予算は細切れになり、ばらばらになって、アイデアもばらばらになってしまった。

近藤：そして、2005 年ぐらいにだいたい日本の機器製作の分担というのが決まりましたが、日本の機器分担を考えると、重電・重工 7 社自体が多すぎて、もう核融合をやめようという会社も出てきています。

現状は、軽水炉が世界的に復活してきていますので、各社とも海外での軽水炉の受注が増え、ほとんど各社とも主力工場は軽水炉に取られてしまっています。おそらく今は、日本の国内企業がもし ITER で協力するとすると、自社以外で工場を確保しないといけないかもしれません。

本来は LHD の後の 10 年後に ITER の建設ということで、2000 年にもう建設着手だったはずなのですが、それが国際協力、国際交渉といった長期にわたる停滞があったために建設開始が今年ということになって、実質約 10 年空白になってしまい、その間、各社とも散り散りばらばらになってしまいました。

いまや、JT-60 を建設した当時の技術者はほとんどリタイアしています。LHD を建設したときの技術者も、あと数年で完全にゼロになるのじゃないかなと思っています。

相良：ちょうど 4 年ぐらい前に核融合研究開発基本問題検討会で近藤さんが示されたデータですね（図 1）。第 1 ピークが JT-60 のころ、第 2 ピークはちょうど LHD のころ。新しい世代がここにつながる訳ですね。

近藤：はい、本来なら我々はその間に技術継承をちゃんとやるべく国にも訴えてきたのですが、それもどうもままな

らず、こういう時期になり、技術継承という意味でもちょっとつらいかなという現状です。

ですから、我々はお金がおほしくてやるのかそういう意味ではなくて、今までは国の計画に何とか協力しようとしてきました。我々としても、核融合をなぜやっているかという、やはり水素で、自前で供給できるエネルギー源ということがあって、我々も、私もずっと核融合をやってきて、少なくとも 2050 年以降の世界には自前のエネルギーを残してやらないといけないという熱い思いを持ってやってきたつもりなのです。

でも、現状は国際協力という場で技術もばらばらになってきたということもあって、今の日本の産業界は ITER が始まるという状況なのですが、諸手を挙げて我も我もというような状況ではないと思っています。

岡野：人材確保と技術継承が困難になっているということですね。

藤田：私はメーカーじゃないのですが、やはり外から見ていると、いわゆる技術の伝承という意味で、発注が来なくなると会社としてももうそこにいつまでもそういう人を置いておくわけにはいかないので、どんどん別の分野に配置換えしてしまう。すると、1 回外したものは、次に、将来的にいくら ITER のある部分を作ることになったとしても、もう集められない。そこでもって技術の伝承というのがパタッと途絶えてしまう。それは本当に憂慮すべき事態だと思います。

岡野：現在、厳しい状況にあります。やっとな ITER やブローダーアプローチプロジェクトがスタートしました。現状

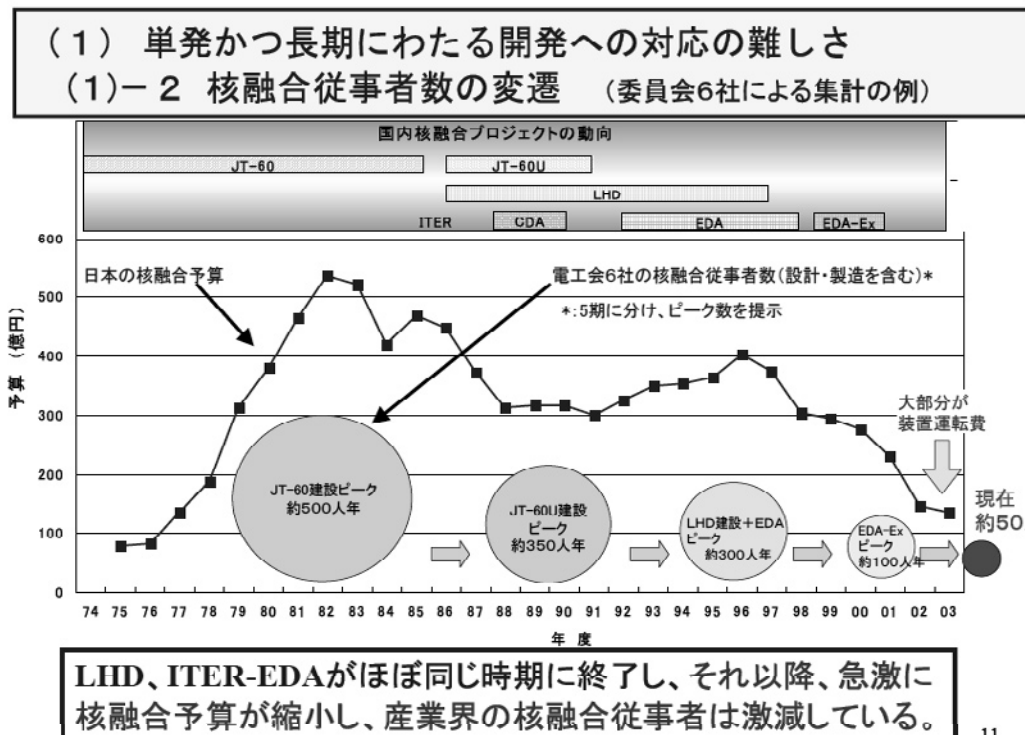


図 1 日本の核融合予算と従事者数の変遷
 （原子力委員会 核融合専門部会 核融合研究開発基本問題検討会（2003 年 11 月 12 日）
 資料「核融合研究開発に関する産業界の考え」より）

を踏まえ今後、核融合研究開発をどのような進めていったらよいのかなどについてお話いただきたいと思います。

近藤：核融合開発を進めるためには、まず今、技術者をちゃんと立ち上げることが重要と思っております。少なくとも我々、核融合をやっている者は、発電実証をまずできないといけないと思っています。発電実証というのが原型炉ということになっており、それを仮に、例えば 2030 年か 2040 年かわかりませんが、そこで必ず成功させるのだということをもまず原点にして、逆算して詳細なロードマップ、それまでにどういった開発をしてきたか、じゃあ、これから何をやりたいかというのを早急に出して詳細なロードマップを作って、そして人を集めていくしかないと思います。

石塚：次の原型炉についてもなかなか全貌が見えてこないというような状況の中で、産業界は非常に苦しい状況が来たと。やっとなら、少し先が見えてきたという状況になってきたのだなあというふうに私は思っております。

先ほど、近藤さんが指摘されたようにロードマップは必要であり、政府に対してロードマップをもって、年ごとにちゃんと計画とお金がつけていけるということをやっていたきたいと申し上げているわけです。

原産では、今後の核融合開発のあり方について、井上信幸先生を座長として核融合開発検討会を設置して、ずっと検討してきました。

実は、井上信幸先生はこの報告書ができる最後のころに亡くなられたのですが、報告書の最後に先生の後書きがあるのです。私はこの後書きを先生の遺言のように一生懸命いつも読むのですが、まさに井上先生が持っておられた最近の状況をめぐる危機感、それから最後に今後の展望を書かれています。

すでに皆さんがおっしゃられたとおりで、やはり核融合の開発とそれを支えていく技術、そういうものを、展望を持って具体的に計画を作っていかなければいけないのだ、そういうことだと思うのです。

ちょうど今、核融合エネルギーフォーラムで岡野さんを座長とした WG でロードマップを作っておられますね。

岡野：ええ、産業界からの要望に沿って詳細ロードマップを今、核融合エネルギーフォーラムで、原産からの委員も含めて作っているところです。

近藤：文科省に対しては、我々がこのままロードマップを明確にして、現状、ITER でやればすべて済むというような考えではなくて、ITER で本当に日本がエネルギーを需給する上で欠けているものと得るものをちゃんと明確にして、本当に欠けているものが、ロードマップを引いたときに優先順位として高いのであれば、それを国内計画でやるべきで、ロードマップに沿って優先順位をつけて開発していくべきだ、ということは我々も言いました。

研究機関と産業界が、どういう役割分担でやればいいのかとかも含めて、ロードマップを早急に作ってくださいということを言っており、原産のほうからも産業界のメンバーが今、2 人入っています。

岡野：ロードマップはもうほぼできています。それをベース

に人材がどれぐらい今後必要かというものを作ろうとしています。

上之蘭：ロードマップというのは、ねらいは何になっているのですか。ロードマップの節目は何になっているのですか。

岡野：ロードマップの節目は、当面の目標は 2030 年代に原型炉を本当に作れるのかと。作れるとしたら逆算して、いつまでに何をやらないといけないのかというのをロードマップとして書いています。

上之蘭：この壁をクリアしないとだめだから、これをおこなないとそのときに間に合いませんよという、高いターゲットが示されておるのですか。

岡野：はい、それは示されています。

技術的な確認を何年までに、例えば材料だったらこれをクリアするかプラズマだったらそれをクリアするか。

【核融合技術をどう考えるか】

岡野：ところで、技術の挑戦について、レーザー核融合研究に協力されている晝馬さんは経営者の観点からどう思われますか。

晝馬：JT-60 の苦労話を聞くと、あれだけ理屈がわかっているのに、さらに理屈でわかるようにするのは無茶だと思うのです。本当にわからんことをやるなら、理屈抜きに、しくじったことを基にしてやってみることで。

私は大阪大学のような大きなレーザー核融合ではなくて、工場で使うぐらいに小型にしようと思っているのですが、大学の先生からは、そんなことできつくないって言われました。とにかく歯を食いしばってやれば、できると信じることで。

岡野：小さいところから試しにやってみるっていうのは大事なことだと思います。ただ、核融合は、試しにやってみるには高くなりすぎたので、絶対確実なものでないと作れなくなってきたのが、今の停滞に繋がっているかなという気もするのですが。

上之蘭：それに関連して、米国 GA 社の大河千弘さんが OHTE（オオテ）というプロジェクトを持って、一口乗らないかと、電中研にもってこられたことを思い出しました。

私は、それはプラズマ屋さんとしてはおもしろいかもしれないが、電中研としては、ユーザーの研究所ですから、この研究に乗れないと思いました。その理由はなぜかと言うと、磁気閉じ込めのためのマグネットを中へ入れる設計だったからです。磁場さえ強くしたら核融合できるだろうというのが、OHTE の計画だったのです。

我々としては、それは物理現象として可能性はあるかもしれないが、それを使って発電を狙ってやっている我々は乗れないと申し上げました。

近藤：いま実際に JT-60 の改造では真空容器の中に銅のコイルを入れるという計画になっています。

それでも技術的には JT-60 では成立すると思うのですが、では実用炉で放射化した時にどうかと考えたときには、クエスチョンマークを持ちます。

上之蘭：私が言いたかったのはそれです。放射化の問題です。

トカマクでは、材料選択 1 つにしても、低放射化の問題にしても、その後の使った材料の処理の問題にしても、解決策はみつかっていない。

近藤：それは核融合共通の課題で、レーザーも同じです。結局、構造物の放射化が問題という点では同じです。

上之菌：ITER をやっていった結果として、ある程度は確認できるのでしょね。じゃあその材料の二割増しか三割増しで原型炉ができるか？と何うとね、なかなか、超えるべき壁は高い。メーカーさんなら一番よく知っていられっやるでしょう。

そういう議論が全然されていない。しかし、核融合は実現するっていうことを証明しなければいけない。

近藤：たとえば、プラズマ制御の要求からすごい精度の十何メートルあるマグネットを使わないといけないとか、そういうのは実用化が難しいと思っています。

要は汎用技術で汎用の材料で、調達できたものでちゃんと核融合ができないと実用化できないと思っています。原型炉に行った時に、そこでのコスト競争力が他のエネルギー源に比べて無ければ駄目なのです。

上之菌：今の技術のレベルとしてコスト比較とかができれば理想的です。できないとしても、次善の手として、ここまですら容認できる、とか、相当前から証明していく努力が必要ですね。そういうものが社会に入ってくるには数 10 年かかります。

近藤：確かに我々としてはできるのであれば、やりたいのですけれども、企業が独自の資金でやるにはあまりにも膨大なお金がかかりすぎます。

岡野：トカマク方式にしても、超高性能コイルを使用するのではなくて、汎用技術で対応できるコイルでできるような原型炉でないと他のエネルギー源にコスト競争力で勝てない、ということですね。

石塚：核融合開発は、これから 100 年近い時間がかかる国の研究開発です。原産の検討会では、これに民間として何ができるかということを検討してきたわけです。今の時点においては、核融合は民間自らの責任において事業計画を構築する段階に至っていない。

これまで民間がやってきたことは政府が行うべきことに

協力してきたというのが事実です。

本来、上之菌さんがおっしゃったように、核融合の路線としてはこれでいいのかということ、国がきちんと考えていくべきと私も思っております。

田中：今、石塚さんが二つ定義されたと思うのです。1 つは、国の路線にそって産業界がどういうふうに核融合研究をサポートできるのかというやり方。

それともう一つは、例えば浜松ホトニクスのように、自分の会社が意志をもって自分でやるという形。それもあっても良いのじゃないかと。将来にわたって、若い人たちの意識を繋いでいこうと思ったらやっぱり両方いるのだと思います。

【これからの開発をどう進めていくか】

石塚：今まで日本の国の技術開発の多くが、いわゆる商業化段階で失敗しています。

なぜ失敗しているかということ、研究開発段階では 100% のものを求めて、かなり大きなお金をかけて政府がやってしたが、商業化段階になれば、もっとコンベンショナルなもので、もっと安く、安定的なものにしないといけない。その段階でいつもなかなかうまくいかなかったというのが今までの経験なのです。

核融合開発はお金がかかるので、予算的な制約の中でもっと実業的な、要するに、現実的な考え方で次の段階を考えるという時期に来ているのじゃないかと。

つまり、そうすると、今までの研究段階と違うことをやるべきじゃないかなあというふうに私は思うのです。産業界の参加という意味では。

晝馬：以前、小柴さんが「ニュートリノは全然使い物にならない」と言ったので、私は、「ニュートリノで地球をトモグラフィすれば、どこに油があるかわかるじゃないか」と言ったら、うんと怒られました。

ニュートリノは物質と反応しにくいので、測るには、せめて測定効率がパーセントぐらいにする必要があります。それには 1 cc で 10 億トンぐらいの目方がある物質をどう作るのかということですが、どこの大学の教科書を読んだって、そんなことは書いてありません。



左から岡野、藤田、田中、上之菌、の各氏

トカマクでも理想的なものを作れと言うと、難題が出てくる。それを、今の技術でそんなものはできませんと威張っているのはどうかと思います。技術があれば必ずできる、問題はいつできるかだけだという望みを持ってやっていると、いくつか新しいもの見つかってきます。そういう精神というか魂を揺り動かすようなリーダーがいないと後継者の養成はできません。お金がなければ後継者なんてできません、なんて言っているようではだめです。

上之菌：産業界の人は、その周辺で何でもできると思います。その気になったら、そういう、優秀な人材を確保し養成しておけば、やる時に召集令状をだせば、ぱっと集まってくると思いますよ。

岡野：これからは、いよいよ召集をかけたいと思っている時期になるわけなのですが。

上之菌：ただ、さっき、おっしゃいましたけれど、一度、技術者を分散させたら集合は難しいでしょう。だから、集められる範囲で置いて、しかもメインにそういう人材はチャレンジするテーマがなくては駄目なのです。

それで、メインの仕事はこっちやっておくと、暇なときにこれを研究しておけとか、その人が喜ぶ仕事も与えてね。

近藤：最近、会社の経営の仕方がだいぶ変わってきております。まず研究開発にしても、社内的にも予算申請の段階で、投資対効果が問われます。これも、せいぜい3年先とかで回収しようとするのです。

藤田：お聞きしていて、ちょっと教えていただきたいことがあります。例えば、時々国としての方針とかその国策として、あるいは、そのロードマップにしても「国が認めてくれなければ」というような言葉もたびたび出てきますね。

そうした時に国といっても結局は我々ではないか、つまり、例えば核融合会議、あるいは総合科学技術会議、どこがやるのか知りませんが、そういったところになぜ我々の本当の気持ちが伝わらないのだろうか、それが非常に気になって仕方がないのですけれども、その辺は何か良い手はないのでしょうか。

上之菌：がんばる先生にがんばってもらえないでしょうか。信念をもっておられる人が必要です。

近藤：1つ考えがあるのですけど。例えば、国で一つの組織を作り、そこで物を作って尚かつ研究もずっと行う、それが例えば核融合、この10年間はITERあるのだったらITERで機器製作をやるための研究者を集めてやっていく。そしてその核融合が終わった後には、加速器とか他のプロジェクト、国のプロジェクトが始まれば、その開発をその組織でやる。

そういう大型プロジェクト技術としては、かなりいろいろあります。そういった中で、開発段階の国の計画というのは、全部をその組織が引き取って実施すれば、かなりの人材がそこで育成されて、今後やっていけるのかなと思うのです。

藤田：今おっしゃったことに関連して、核融合科学研究所のアーカイブ室でハードウェアについてのアーカイブもやっていこうという動きがあります。装置の写真なんかも残して行こうと。

岡野：近藤さんのおっしゃったのは、資料だけでなく、人も。

近藤：人材も、です。

上之菌：ただ、不安な点として、それが終わった時に帰るところがあるかどうかという点ですが。

近藤：私が考えているのは、そういう組織を国が作り、その組織が国の大型プロジェクトすべてに対応する。国のプロジェクトでは何かが立ち上がれば何かのプロジェクトがなくなるというような予算構造ですから、核融合だけのために集めるのではなくて、国のそういった物を作るプロジェクトはその組織が全部対応するというやり方にすればいいのではないか。そしてその組織で技術継承も実施するようにする。

例えばその中で核融合において発電実証に見通しが出てくれば、それは当然今度は産業界が技術を当然引き取らなければいけないと思います。

岡野：将来の可能性としてですが、そういう方向もありえるかもしれないですね。

今日は長時間本当にありがとうございました。

出席者の紹介（五十音順）

石塚昶雄 （いしづか のぶお）

1968年早稲田大学法学部卒業。同年、(社)日本原子力産業会議に入所。2004年同会議常務理事・事務局長に就任し、現在、(社)日本原子力産業協会（2006年4月組織名変更）常務理事。2007年より科学技術・学術審議会専門委員（核融合研究作業部会）。2008年同作業部会タスクフォース就任。趣味は、ヨット、つり、山歩き。今年の夏はヨットで三宅島へ。

上之蘭 博 （かみのその ひろし）

財団法人 電力中央研究所 名誉特別顧問。超伝導エネルギー貯蔵研究会 会長。愛媛大学工学部電気工学科卒。工学博士（京都大学）。昭和28年、四国電力株式会社入社。電中研においては、電力研究所長、情報研究所長など歴任後、平成7年に専務理事に就任。また実用核融合炉検討会の主査などとして、電中研における核融合研究の基盤を構築。電気学会・電力賞（昭和56年）、同学会・電気学術振興賞・進歩賞（昭和43、46、52年）、同・著作賞*（平成18年）、科学技術庁長官賞・研究功績者（昭和58年）などを受賞。著作は、超伝導発電機（*を受賞）、新送電技術（共にオーム社）など。

近藤光昇 （こんどう みつのり）

1980年3月、広島大学工学研究科材料工学修了し、同年4月、東芝入社。東芝入社以来、原子力事業部にて一貫して核融合開発に携わり、現在、ITER、JT-60SAのプロジェクトマネージャーとして従事している。大学では材料工学を専攻したが、入社して核融合部門に配属されると専門外の核融合ロボット開発に携わった。1992-95年に原研・那珂研（当時）に出向し、ITER工学設計段階のITER国際チーム立ち上げ時にメンバーとして参加した。現職は、原子力事業部新技術応用システム技術部 担当部長。

晝馬輝夫 （ひるま てるお）

1926年、静岡県浜松市生まれ。1947年、浜松工業専門学校（現静岡大学工学部）卒業。1953年、浜松テレビ株式会社設立に参画と同時に取締役に就任。1978年、代表取締役社長就任。1983年、社名を浜松ホトニクス株式会社に変更。2004年、代表取締役社長兼会長に就任・現任。他に（財）光科学技術研究振興財団理事長、（財）浜松光医学財団理事長、（学）光産業創成大学院大学理事長を兼務。科学技術庁長官賞、藍綬褒章、SPIE ビジヨナリー賞他を受賞。

<座談会担当>（五十音順）

岡野邦彦 （おかの くにひこ）

（財）電力中央研究所 上席研究員。東京大学大学院 新領域創成科学研究科 連携講座教授。1984年東京大学工学系研究科 博士課程修了（工学博士）。2002～05年度、本学会理事。研究分野は定常トカマクの理論研究、核融合動力炉概念設計研究、革新的エネルギーの社会経済的解析など。最近は今後のエネルギー問題における運輸部門電動化にも興味を持っている。趣味は天体写真撮影で、2007年に米国 SBIG Award for Excellence in Astronomical Imaging を受賞し、日本人初の SBIG Hall of Fame 入りを果たした。

相良明男 （さがら あきお）

専門は核融合工学。名大原子核工学専攻にてニュートロニクス、イオンビーム解析を経て、LHDにてプラズマ壁相互作用における物質移行物理工学と炉システム設計統合。現在はヘリカル炉FFHRの設計統括、炉工ネットワーク世話人など。これらとスキー、カヤック、浪曲鑑賞とのベストミックスが当面の課題。名大プラズマ研を経て核融合科学研究所・教授、2008年より炉工学研究センター長とFusion Eng.& Design 誌のエディター。

田中和夫 （たなか かずお）

「核融合の歴史を遺す座談会」にて紹介。

藤田順治 （ふじた じゅんじ）

「核融合の歴史を遺す座談会」にて紹介。



「核融合の現状と将来」

— 総合化の流れの中で大学は何をなし得るか —

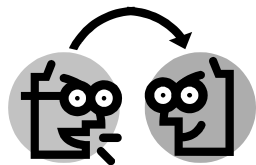
核融合研究は「ITER時代」を迎えようとしている。この時代背景の中で、これまで進められてきた「炉心プラズマ研究」と「炉工学研究」という二つのサブ領域を策定して進められてきた研究は、一つの具体的な作業仮説（トカマク型核融合炉の実証）のもとで統合化・整合化することが求められようとしている。また、時代をリードするであろうITERに比肩する巨大な実験プログラムを複数並行して進めることは難しくなる。こうした変化は、多様な可能性を追求してきたこれまでの研究の中から「選択と集中」が行われるプロセスでもある。一方で、ITERを成功に導くためには、優秀な研究者を育てる必要があり、そのためには大学において創造性に満ちた研究が進められている必要がある。いわゆる学際的な還元・普遍化を本分とする大学等の学術研究が、豊かな多様性と深いアカデミズムを保持しつつ発展するためには、どのような学術的な活動が必要であるか？研究者はどのような目的を自らに課していけるのか？学会・コミュニティは何をすべきか？と言う問いかけに答える必要がある。（担当：吉田善章，高村秀一）

本企画は、今後数十年を要する核融合研究に対して、大学の果たすべき役割について、日ごろ我々が考えていることを往復書簡として意見交換したものである。必ずしも議論が尽くされているわけではなく、また明確な結論を提示しているわけでもないが、ここで取り上げた課題や視点が、今後の大学での核融合研究の在り方・進め方についての継続的かつ建設的な議論の一助となれば幸いである。（小川雄一，吉田直亮）

【学術としての体系化・普遍化と知の循環】

吉田直亮先生へ

小川雄一



核融合懇談会の発足50周年を迎えるにあたり、核融合研究の過去を振り返りつつ、核融合エネルギーが実用化されているであろうと期待される数十年後を展望するのには大変良い機会だと思います。特に、ITER装置建設がスタートし、その次の原型（デモ）炉開発に向けての具体的なロードマップが議論されており、核融合開発は実用化に向けて新しい時代に入ったと言っても過言ではないと思います。2005年10月の原子力委員会核融合専門部会での報告書「今後の核融合研究開発の推進方策について」にも述べられている「2030年代に原型炉での発電実証、今世紀中葉には核融合エネルギーの実用化」、を是非とも達成したいと思っている次第です。

ところで今日は、少し別の視点から今後の核融合研究の在り方について議論させていただければと思います。筆を執った次第です。吉田先生も私も「大学」という場において、日々の研究および学生教育に忙殺されていますが、20-30年後の大学での核融合研究はどうなっているのだろうという視点で考えてみたいと思います。「選択と集中」により選ばれた大型プロジェクトのような開発研究と違い、大学では独創性・新規性に根ざした学術研究が使命であり、

そのためには「多様性の確保」が必要不可欠であります。これを核融合研究に当てはめた時、それでは大学の学術研究は具体的にどうあるべきなのか、多くの大学関係者はなやんでおりますので、まずはこの点に関して議論できればと思います。

核融合炉が実用化した数十年後の時代を想定してみると、そこには炉心プラズマ物理と炉工学技術が見事に融合した核融合炉が稼働していると共に、それを支える基盤学術として「核融合学」が一分野を構成し体系化されていると思います。一方で、核融合炉心プラズマ、宇宙・天体プラズマ、産業応用プラズマなどの多種多様なプラズマを中心とした「プラズマ理工学」も学術的に体系化されていると期待されます。また先生が専門とする材料分野でも、核融合研究で開発された高機能材料の特性が原子・分子レベルで解き明かされ、様々な分野への応用が図られるなど、先進的な「材料科学」分野として花開いていることと想像されます。

一方、このような学術的体系化を大学で進めるにあたり、何が重要かを少し考えてみたいと思います。前述の「選択と集中」vs.「多様性の確保」というように、二項対立として物事をとらえようとする風潮がよくあります。開発研究 vs. 学術研究、理学 vs. 工学、などもその一例かもしれません。特にこのような二項対立は、政策や方針の決定など、白黒をはっきりさせる場で用いられることが多いと思います。それはそれで仕方ないのですが、このような二項対立で物事をすべて分断してよいのかという疑問が生じます。ともすると、政策や方針の決定で選ばれなかった

の我が国における核融合研究のあり方」でも述べられているように、我が国においては大学等で行われる幅広い学術研究を礎として核融合に関する基礎研究が展開され、それらの成果を基に ITER などの開発研究を進め、核融合炉を実現するという階層的な研究構造が認知され機能しています。淀みない「知の循環」は個々の研究者が自分の取り組む研究の位置づけを常に自覚し強い責任感を持って進めることが前提ですが、研究階層間の連携を促すシステムの工夫も必要です。当学会や核融合研究ネットワーク、核融合エネルギーフォーラムでの情報交換や、中枢的研究機関である原子力研究開発機構や核融合科学研究所で実施されている国内・国際的共同研究システムなどをいかに有機的に活用していくかが問われると思います。

大学等で行われている学術研究としての核融合研究に対して、「一般学術へと普遍化することが求められ、他分野に対して学術的な発信拠点となることが肝要である」ことも指摘いただきました。大学で研究を進める者として常に強く心に刻んでおかなければならないご指摘だと思います。このことに関連して、北大の故山科俊郎先生の「研究ふるさと論」を思い出しました。1980 年から 1990 年まで行われた科学研究費「核融合特別研究」が終わろうとしていた頃、炉工学の分野で指導的な役割を果たしておられた山科先生が我々に熱っぽく語られたものです。当時の状況は、それぞれ異なった分野で育った研究者が「核融合研究」に結集しており、いわゆる核融合の専門家が核融合研究を進めるという現在の状況とはかなり異なっていました。「我々は核融合の研究に取り組んでいるが、それは核融合研究の中だけではなくそれぞれの故郷である専門分野で高く評価されるものでなければならない。また、そのような成果を持っていつの日かそれぞれの故郷で再び活躍してほしい」というのがその趣旨ではなかったかと思います。核融合研究に埋没するのではなく研究の内容や手法においてそれぞれの学術分野で高く評価されることを常に意識して日々の研究を進める必要があることを説かれたものです。

核融合研究が始まってすでに 50 年を越えました。私自身は第二世代に位置しますが、現在では第四世代の若い研究者が育ってきています。彼らの多くは核融合分野の中で教育を受け、核融合を“ふるさと”として研究を進めていますが、それぞれの研究を支える基礎的な学問や広く隣接する分野の最新の成果ももっと吸収してもらいたいと感じることが多々あります。核融合に関する基礎研究を一般学術へと普遍化でき他分野に対して学術的な発信拠点となりうるためにはぜひ日頃からこのことに留意して研究を進めていただきたいと考えています。このような意識を持って研究を進めることによって「核融合学」を基盤学術の一分野として体系化していくことができるのではないのでしょうか（図 2）。

大学における教育と人材育成においては、社会が求める高度な専門知識を教授するのみならず、これからの社会を

牽引するにふさわしい広い視野と見識を持った人材の育成が求められます。この観点からは核融合に関する教育と研究は優れた特徴を持っていると思います。この分野が最先端の総合的な理工学を探究していることに加え、遠い将来を見据えた国際的な協力が前提であることがもたらす効果も忘れてはいけません。国際的な感覚を身につけ歴史の中で自分の役割を考えることのできる若い有能なリーダーが育つ環境にあります。大学や大学院で核融合を学んだ学生の多くはむしろ他の分野で職を得て活躍するのが現状ですが、そのような学生にとっても将来の礎となるような勉強や経験ができるよう工夫することも非常に大事だと思っています。

まとめませんが、日頃考えていることを文章にしてみました。教育と人材育成はもっと広い視野で語るべきことだと思います。ぜひ先生のお考えをお聞かせください。

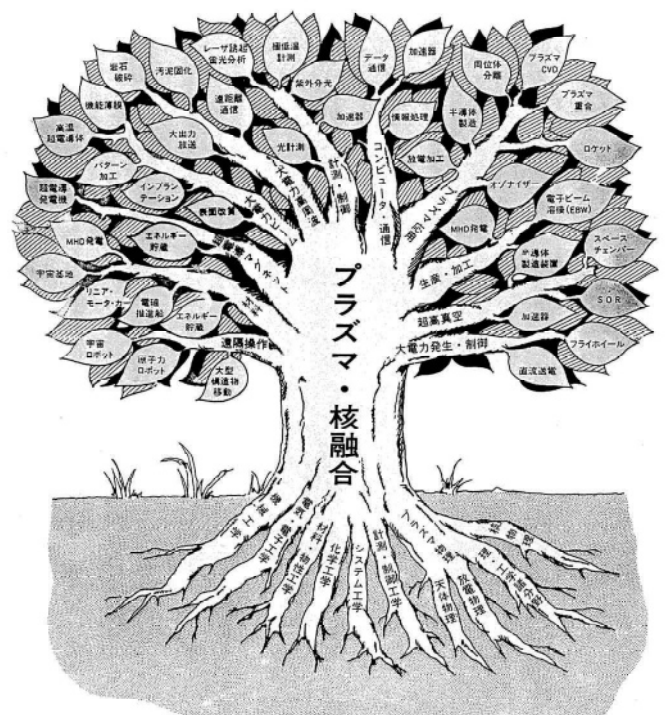


図 2 プラズマ・核融合の波及分野

(プラズマ・核融合学会ウェブサイト

<http://www.jspf.or.jp/picture/hakyu.JPG>)

に研究室で預かった多くの院生に対して指導者としての役割を十分果たせなかったのではないかと、の自責の念も強いのですが、最近感じていることをすこし書かせていただきます。

修士課程の教育でのスクーリングの重要性は言うまでもありませんが、要は中身だと思います。この前お送りした手紙で核融合研究の分野で活躍する若い研究者に対して、「それぞれの研究を支える基礎的な学問や広く隣接する分野の最新の成果ももっと吸収してもらいたいと感じることが多々あります。」と書きましたが、その原因の一つは大学院におけるスクーリングの問題があると思います。従来の大学院におけるスクーリングは専攻間にまたがる共通講義などを設けてはいますが、大半は専攻内の講義を履修することになり、講義内容は偏りがちです。学生が自分の進路を踏まえ本当に勉強しなければならないことを専攻や研究科さらには大学の枠を越えて履修することを推奨し多様化する時代の要請に柔軟に対応できるシステムを充実させることが肝要だと思います。高い専門性と幅広い知識が要求される核融合の研究者育成には特に必要ではないかと思っています。この点でご紹介いただいた東京大学での「核融合研究教育プログラム」は興味深い取り組みで、良い結果が生まれることを期待しています。

大学院教育のもう一つの柱である修士論文研究や博士論文研究の指導には全く異なった視点が必要だと思われます。研究指導は一般的にはマンツーマンで行われることから、それに携わる教員はわが子に対する親の責任と同じような重い責任を負うことになります。「三つ子の魂百までも」とよく言われますが研究者としての魂は大学院でどのような指導を受けたかによって決まるといっても過言ではありません。学生には未知の世界の扉を開く独創的で先端的な研究課題に取り組むことによって研究の喜びと厳しさを自ら体験し、次代を担う研究者魂を身に付けてもらいたいものです。十分な研究環境を整え個々の学生の進路や個性を踏まえた適切な指導を行うことが我々教員の役割となります。

研究指導のもう一つの重要なポイントは“コミュニティで育てる”ということではないでしょうか。核融合の分野では国内外を問わず共同研究が非常に活発に行われており、その中で研究を進めている大学院生も少なくありません。研究室を飛び出し他のグループと共同で研究を進めることは勉強を始めたばかりの学生にとってはいわば他流試合で勇気のいることだとは思いますが、他の機関の研究者や学生とふれあい議論することによって一段と成長する学生が多いのも事実です。幸い核融合研究の分野では共同利用機関である核融合科学研究所を初め原子力研究開発機構や各大学において多様な共同研究のシステムが整っており、これを積極的に活用することが教育という面から大事だと思われます。

“コミュニティで育てる”という点でプラズマ・核融合学会の果たす役割も非常に重要です。私の経験からしますと

学生は学会や研究会で口頭での研究発表を重ねることによって例外なく飛躍的に成長していきます。もちろん適切な研究指導、発表指導が前提ですが、学生達は研究内容のみならず社会に巣立っていくために必要な自信と自覚も同時に身に付けていきます。このような観点から考えますと、報告会やシンポジウムが中心で若い学生たちの口頭発表の機会がほとんどない当学会年会の教育効果についてはいささか疑問が残ります。ぜひ見直しをお願いしたいものです。

核融合研究が社会からの大きな期待を担い若い学生たちにとって自分の将来を託したくなる魅力的な輝きを放ち続けてこそ核融合炉の早期実現が可能となります。このような中で研究の大きな流れを議論し次世代の研究者を養成する場としてのプラズマ・核融合学会の役割はこれからますます重要となります。

筆者紹介

吉田直亮 （よしだ なおあき）

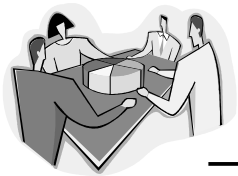


1945年6月3日生まれ。1973年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士課程修了。マックス・プランク金属物理学研究所客員研究員、九州大学応用力学研究所助手、同助教教授などを経て1984年より同教授、現在に至る。九州大学大学院総合理工学府先端エネルギー理工学専攻を兼任し大

大学院教育にも携わっている。金属の格子欠陥や照射損傷に関する基礎研究を経て、現在ではプラズマ壁相互作用や中性子照射効果など核融合炉材料に関わる研究に従事。スポーツや音楽、日曜大工などをたっぷり楽しめる時を心待ちにしている。

小川雄一 （おがわ ゆういち）

「核融合の歴史を遺す座談会」に掲載



「核融合の現状と将来」

－ 若い世代は核融合研究の将来をどう描くか －

核融合 50 周年記念の記事として、過去の歴史を遺すことをめざした一連の座談会記事、また現在の核融合研究の状況を様々な側面から記述する記事に加えて、この記事は核融合研究のこれからの発展について議論することをめざしている。未来を考える主体として、比較的若い世代の研究者に集まってもらい、今後の核融合研究の展開する方向について語っていただいた。また核融合の研究分野を外から見る立場の研究者も加わっている。これから ITER という大きなプロジェクトが動き出そうとする時点で、現場からの意見という意味で研究体制についての不安や疑問点などの辛口の意見も述べられた。紙面に限りがあるため、座談会担当委員の責任で一部の発言内容を割愛せざるを得なかったことをお断りする。

日 時：平成 20(2008)年 4 月 19 日（土）14:00～17:40
場 所：核融合科学研究所，研究棟（I）7 階会議室
出席者（敬称略）：後藤基志，小林進二，坂本隆一，
鈴木晶大，高橋 信，星野 毅，松永 剛，八木絵香
司 会：岡村昇一，北島純男

岡村：では座談会を開催させていただきます。今日は遠方から来ていただきましてどうもありがとうございます。この座談会のテーマとして、若手は今後の研究の展開をどう考えるか、ということを取り上げました。核融合研究の今後の展開として ITER は中心的な議論点になるかと思いますが、かといって ITER がどうなるかだけ話していたのでは、核融合研究のこれから先のイメージを考えるには大きく欠けるところがあります。極端な話、どんどん研究が集中してしまっ、大学の先生も皆さん大型装置の共同研究に参加して研究するだけで良いのではないかという議論になりかねない。大学の装置は世界のトップデータを出すものではないですけども、基礎研究や萌芽的な研究、また人材育成には不可欠な環境であるとの視点も重要です。若い方が自分の研究のキャリアパスを考える時に、中心的な研究所で仕事をするのでなかったら重要な貢献ができないと考えてしまう、というような極端な話、そんな

ことでは何か違うのではないかという感じがします。まず鈴木さんどうですか、大学サイドの立場から。

【ITER 計画の意義，大学の研究との関係】

鈴木：ITER の話が始まるまでは、高温のプラズマがちゃんと閉じ込められるのかとか、プラズマから発生する大量の中性子に耐える材料はあるのかなどのサイエンスをやっていただけであって、核融合炉を実際に作り上げるという実感を身近に感じていなかったと思います。でも ITER で兆円という単位のお金を使うことになって、この 2～3 年前で初めてエネルギー源としての開発研究の元年が訪れたなということを感じます。それで私は ITER をやるということが決まったことはすごく良いことだと思っています。ITER をやるということは、それは本気でデモ炉（次ページ脚注）を作ることなのですね。デモ炉まで開発するという責任感や連帯感が生まれた。

私はデモ炉に向けた炉材料の研究を行っていますが、同じような材料を使いながら、軽水炉分野では何十年という時定数の耐用期間の延長に向けた研究開発を行っているのに、ITER では分のオーダのプラズマに対する材料の耐久性の議論がなされている。核融合の材料研究というのは産業としての完成度ということも含めて、非常にまだまだ



座談会全景 左から，星野 毅氏，鈴木晶大氏，岡村昇一氏，北島純男氏，八木絵香氏，高橋 信氏，松永 剛氏

の部分があるなというふうに考えています。本気でデモ炉を作る研究がこれから 30 年続く。今まで手を出しにくかったような分野、実用炉を目指すことで新たに必要となるような研究分野にもこれから皆が取り組まなくてはならないということで、まさに新しい研究が始まったばかりという感じです。

小林: 私は大学の研究の中でも比較的大きな予算がついているところで研究をしていますが、その中で新しい概念なりアイデアなりというものを、成果がそのまま ITER に繋がるかどうかというのは確実にはわからない状態で研究



小林進二氏

をしている。もちろん良いと思ってやっているわけですが、そういった研究をコミュニティ全体として支えてくれる土壌というのがあって初めて、各大学で比較的大きな装置の研究というのが継続できると思います。その研究が実際にすぐに ITER に繋がらないとしても、それからの波及効果というのは必ずあると思っています。例えば北島先生のやっておられるようなヘリアックの小さな

小型の装置の研究の一つのテーマから閉じ込め研究共通の物理を見出して、それが ITER に波及する場合もあるわけですし、大学での学術の研究というものは、非常に広いスペクトルでやっていく必要があるなということを常々思っています。

一方大学であれば研究者の人材育成ということが重要になってくるわけです。人材育成をする際にどういった視点を持って研究をするかというのは、例えば ITER に行くにしても、それから基礎プラズマを研究するにしてもそれは同じことだと私は思っています。ITER だけではなくて学術という観点から、プラズマ物理、磁場閉じ込めのプラズマに関して、新しいアイデアをどんどん出していけるような土壌が核融合コミュニティの中から生まれてほしいなというふうに思っています。

岡村: 松永さん、今後 ITER 研究に強く関わっていく側の観点から、大学の研究との関わりをどのように考えますか。

松永: 私の年代というのは丁度 ITER のファーストプラズマの時に 40 代半ばから後半ぐらいになって、それまで 10 年

デモ炉：原子力委員会で最初に議論された核融合の研究開発プランでは、実験炉→原型炉→実証炉（経済性の実証）という段階を経て商用炉に至るというステップが採択された。しかし平成 15 年に見直された計画では原型炉と実証炉は一つのステップで実施できると考え、この段階を原型炉と呼ぶようになった。一方欧米での呼び名と同様にデモ炉と呼ぶ場合もある。



松永 剛氏

ちょっとあるわけです。そこまでの間に何ができるかと言った時に、日本の核融合研究というのはトカマクは開発研究でいきましょう、その他ヘリカルを中心とした流れは学術でいきましょうという、そういう形になっているのは非常に大きな問題じゃないかと思っています。核融合研究のロードマップというのが、漠然とは実用炉にいたるまでのそういうもの

はあるのでしょうかけれども、あまりにも漠然としすぎているように思います。我々から言うと、そういうものはもっと具体的に作ってもらわないといけない。トカマク、ヘリカルの両方を含めてうまく描いてもらわないと、予算の配分や研究テーマ等で、同じことを両方でダブってやったりすることもあるわけです。もちろん違う点も当然あります。

もうちょっと想像力を豊かにしてですね、例えば 50 年後我々はどうなっていくべきか、核融合炉を世界の各国に技術を提供して作れるくらい、メーカーがそういうところまでやれるくらいまでの技術を日本が作っていくにはどうしたらいいですかということを考える。まず ITER というポイントが一つできました。でもそこで活躍できる若手を育てようとしたときに、ご存じかどうかわかりませんがこの夏で世界三大トカマクの一つの JT-60 がシャットダウンします。その後に新しい装置 (JT-60SA 装置) ができるのですが、ファーストプラズマまでは約 8 年ぐらいはかかるということで、今後 8 年間は日本にはトカマク実験がないという状況ができます。このような状況でトカマクをやる若手はどう育つのですかとか思っています。国内重点化も含めてですね、これまでとってきた方法は何かその場のぎのような感じがして、ほんとに先のことを長くみてやっているのかどうかという点で疑問に思うところがあります。

このところ装置の数が減り、あるいは研究の規模が減少してポストも非常に減っています。私の同期なんか、ドクターはいっぱいだったのに、とったあげくにもう行くところがない。それで結局民間に就職したり他の分野に行く人もいる中で、本当に核融合を日本としてリードしていこうとしているのだろうかと思ったりするわけです。何か全体を長期的に見据えたロードマップというのがしっかりしていないのじゃないかと思っています。

【核融合研究のロードマップ】

坂本: 私は日本のロードマップとしては、エネルギー政策の中に核融合がちゃんと入っていないと認識しています。核融合研究はただ研究者がやっているだけということで、



坂本隆一氏

エネルギー開発としてのロードマップはないと思います。研究者が自分の立場で各研究所ごとに勝手にやっているだけ。国に書いてもらうためには、やはりそれなりの成果を出していかないとけない。エネルギー源として認識していれば、必ずいついつまでという言い方は出てくるはずで、今は国の政策に入れるかどうかというのを検討している段階なのだと思います。

後藤：ITER のプラズマというのは、現在の研究とは何か別世界のものじゃないか。アルファ加熱がどうなるかとか、今の研究ではもうわからないようなプラズマを作ろうとしているわけですよ。最近新しい論文なんかを読んでいても、はっきりいっておもしろくない論文が多いですね。画期的なものというのはあまり見られない。それぞれの専門の中では価値があるのかもしれないですが、分野外から全体的なものを見た時に画期的な新しいものというのがしばらく出ていないような感じがします。今、力を入れて研究している対象というのが、ものすごく細かなことに思えて、ロードマップができないというの、ITER をやってみないとわからないというところがあるのじゃないのかなと思います。ロードマップを書いてくださいと言われた時に、実際に核融合炉を作るのに何が課題であるかということすら、今はよくわかっていないという気がします。だから ITER をやってみたらまたきっと新しい研究課題がいっぱい出てくると思いますが、一方何か新しい段階に進むのにその度にお金がかかりすぎるというのは、別の面で問題であるという気がします。

岡村：大きな投資がないと新しい領域に入れないという点では、高エネルギー科学なんかはまさにそうですね。それこそ大規模な装置1個がある一つのモデルを証明するためにあるみたいなのところもあって、それだからと言ってこのことを取って先の見通しがないとってしまいうよりは、サイエンスの進歩の一つのステップかなという気持ちはしますけれどね。

ただ ITER の結果でもって核融合のかなり先のイメージも変わってくるのですと単純に言ってしまうと、核融合実現までの見通しがまだ不確かだとも取れますから、「君たち何、まだそんな理解のレベルなの」といった反応も出るか



後藤基志氏

もしれない。

八木：工学というのはいろんな選択肢の検討を進めていって、研究の過程においてそれらの選択肢を落として最後に一つを選ぶというプロセスであると言えます。けれども今なかなかそれが許されがたいような風潮というのがあるような気がしています。要は確度のいいところに投資をして効率的に研究をなささいという圧力

がある。税金でやっていく研究に対してこういう圧力が高まっている時に、成功したら大きな成果があがるけれど、成功するかどうかはまだはっきりわからないという研究を説明するのはすごく難しい。ましてできるかどうかかわからないよ、とできれば言いたいようなものをどう説明するか。自分は一応それにコメントをしなくてはと思ってきたのですが、答えとして非常に大変だなというのが正直なところです。非常に難しいけれど可能性は十分ある、ということはどう伝えるかということに頭を使っていくようなことを、今からやっておくべきなのだろうなというふうに思っています。

この座談会に胡麻をするつもりはないのですが、やはり新しいものを作るのが一番研究者にとっては楽しいわけで、そういう意味で原子力の分野に今新しいものを作るわくわく感がある分野ってあまりないような気がします。どちらかというと尻拭いであったり、すでにトラブル満載なものが結構多い。核融合は面白さを伝えられるという良さという楽しさがあるなと思っています。

鈴木：まだ核融合は一人前のエネルギー源ではないのですよ。エネルギー源開発ではないので、そういう社会的な問題とか議論する段階じゃないと思っています。プラズマの研究に関しても、トカマクだヘリカルだと言っても、定常運転の問題もありますので、実際に炉にした時にどっちが良いかというのはまだ全然わかっていないと私は思っています。

そういう状況の中ですので、むしろ我々がロードマップを作るのだと思います。我々がロードマップを作って、それに応じて10年20年やっていってそれが国に承認されるということになると思います。我々が考えるべきは、ITER が終わってさあこれからデモ炉の研究を始めましようと言った時に、我々の中にどういう研究体制が整っていれば良いか。私の想像ですけれども、やはり大学にある小さな装置というのは後継者の育成のために使うべきだし、ヘリカルはヘリカルでデモ炉の定常運転を見据えて進んでいくべきだし、それとはまったく別にトカマク型の ITER でなければ得られない物理もあるわけです。この三つをうま



八木絵香氏

く組み合わせて、あるいはこの三つをうまく利用しながら、国内のトカマクをITERのサポートに回すというのは良い考えだと思いますね。

松永：もし大学に中規模な装置がいくつかあれば、そこで勉強してきた人たちが次のステップでITERに向かっていけるわけですよ。それはヘリカルでやってももちろん良いのですが、一つの選択肢としてトカマクというのを持つことができるのであれば、大学のトカマクの学術研究で学生、若手を育てることができる。大学でのトカマク研究というのを続けていかないと、10年後20年後にITERでやっていける人がいなくなるんじゃないかと心配します。

今はまだ装置をどれかに絞るというのでない方が良いでしょう。お金は限られていますがそこも考えようで、実験装置のサイズって一番良い規模があるんですよ。例えば非常に大きい装置はそれなりの性能が出ますけれども、何かするのにお金がかかる。それよりもある程度小さい方がいろんなことができて、そこそこのパフォーマンスも得られる。例えばJT-60は中性子が大量に出ていろんなものを放射化してしまうので、そこを管理区域にして一度持ち込んだものは取り出せないし、ちょっとやそつとで新しいものはつかない。逆にもう少しサイズが小さいDIII-Dなんてアメリカの装置なのですけれども、わりとひよいひよいと物がついて、そこそこパフォーマンスもいい。だからその一番効率的なところで学術研究をやっていけるのじゃないかと思えます。研究のブレイクスルーというのは学術研究から、あるいは学術というか物理研究というか、そういうものから出てくるのだと思います。

【ITERにおけるブランケット研究】

岡村：ITERはもちろん核燃焼の炉心プラズマが大きな研究ターゲットですが、ブランケットの研究・開発も大きなターゲットですよ。それでブランケット絡みでいくと、今松永さんが指摘したような問題点というのは、あまり強くは出ていないということですか。それともやはり何かそれなりにいろいろあるのですか。

星野：プラズマを点けるためにはヘリカルを選ぶかトカマクを選ぶかという2本柱ですよ。ブランケットに関しても大きく言えば液体で増殖するというのが核融合研と大学、固体でやるのが原子力機構、この2本柱になっていて、それがお互い手を結ぶかというとなかなか結ばない。

鈴木：今の研究のフェイズはITERでどちらかが採用されるとかいう状況ではなくて、まだデータがそろっていないのでどちらが良いと言い切れる状況に全くない。それで予算とか人員とかの判断にしても、両方のタイプの研究を今やっているところなのです。もちろん最終的には選択をします。

高橋：それはITERを作って試してみて、どちらが工学的に良いかを判断するというのではなくて、その前の段階でどちらかを選択してそれを設計に反映させなければいけないということなのですか。



高橋 信氏

鈴木：材料だけに限って言うと、ITERとは別にIFMIFという材料照射試験装置を作って、照射したとき良いか悪いかというのをこれからテストしましょう、テストする材料は両方から出しましょうということになっています。それが終わった段階で、あるいはある程度結果が出てきた段階で選択の議論が出てくるのだと思います。

高橋：最終的には工学的な判断で、きちんとデータが出た段階で、どちらかを選ぶという過程があるわけですね。私はITERの設計図とか見ていると、非常にできあがって設計が固まっているものだなというイメージを持っていましたが。

鈴木：ITERそのものはそうですが。

高橋：そこに入れるものとして、液体か固体かという、どういう物質を使うかということこれから研究していくというわけですか。

星野：プラズマを何で包むか、どういうかたちで包むかという研究の中身はこれからという段階です。だから別に、原子力機構だから固体増殖／水冷却というシステムを推しているわけではないわけですし、私も当然液体増殖とかの研究の状況も含めてどれが良いのかなといった感じで見ています。私のような世代の人間にとっては、むしろ液体増殖が可能であればそれを採用したいくらいに思っています。

高橋：こだわりはないということですか。

星野：固体で見える限界というのものもあるし、それが液体になると解決するというものもある。ただそこまで液体のタイプの研究が進んでいるかという、まだだなあという感じがする。たぶん今後そのあたりを決めるのは私達の立場だと思うので、別に固体に固執しているつもりはない。どういう研究をやっているかを見ながら、一番良いものを選んでやろうという気持ちはあります。

原子力機構でブランケットを作って、中性子は当てられないけれど、それに水を流したり温度を上げたりとか、そういうものを調べることはできる。8年間JT-60が止まるというような問題はブランケット研究の場合はないので、そういう面では良いのですけれども、じゃあその研究をやるときに研究者が十分足りているかというと実は足りていないのです。この状態でほんとにITERに行ってもまともな研究ができるのかな、というのが本音です。

ITERで当然プラズマは点くでしょう。プラズマは点くけれど、じゃあ将来発電をやるための燃料部分の炉心、核分裂炉でいったら炉心に当たる部分を我々はやっているわけで、その部分に対する研究者が非常に少なくて、現

状では ITER に行ったときに大恥をかくのではないかと心配です。それは日本だけでなく世界も同じような感じの状態です。

だから日本が本当に核融合をやるのであれば、大学の学術研究の中でも、例えば研究時間の 10 パーセントでも良いから、何かできそうなこと、ある程度現実的な見通しの高いものをやりましようと言いたい。それで大学連合でやっている液体ブランケットが有効であれば、我々はもうそちらに動くよ、という決意でいる。炉工の分野では研究者全体がトータルで足りていないので、極論を言ってしまうと、取りあえず最初は大学の皆さんも固体をやりませんかと言いたい。それが終わったら原子力機構を含めて全体で液体をやりますから。そういうような体制があると良いなあと、まあそれは理想なのですけどね。

松永さんの思っていることとちょっと違うかもしれないですけど、研究者が足りていないという視点で、本当にオールジャパンを掲げて核融合をやるのであればなんとかしないといけない。どういう方式が良いのかかわからないけれど、今話したみたいな極論が良いのか、あるいはもう少しバランスをとってやるのが良いのか、少しはトカマク／固体増殖ブランケットに傾けながら進めていくのか、といったところは考えなければいけないのかなと思います。この先研究グループの協力関係が平行線で行った時に、将来の発電炉が本当に見えてくるのかなあという心配があります。

【核融合研究に人材は集まるのか】

岡村：研究者が足りないという話は、この座談会でもいろいろな場面で出てくる意見なのだけれど、それでは研究者が増えるというのはどういうケースがあり得るのか。例えば天文学とか素粒子研究とか、あるいはバイオでも何でも良いのだけれど、大学の中で研究の分野を決めるのは基本的には研究者本人の自由です。あるいは研究科の中で誰か教授が辞めたときに、その次はどういう分野の研究者にするのかというのは研究科として独自に考えますよね。こんなふうに研究者の中の自然な動きとして、ある分野の研究者がだんだん増えるといった状況が実現します。では我々の研究領域は、大学の中も含めて自然に人が集まってくる分野なのか。人が集まってくる分野だったら、ほっておいたってどんどん増えるだろうということになりませんか。

高橋：原子力分野を考えると、ここ 10 年、今ちょっと上がってきていますけれど、非常に人気がない状態で、大学でも学生が原子力を選択するかというとしなかったですね。ただそういう流れの中でも核融合は別じゃなかったですか。核融合をやりたいという学生、夢を持って未来のエネルギー源だと思ってくる学生というのは、私は定期的にいたと思っているのですが。そのまま研究者に繋がるかどうかというのは別にしても、学生のレベルでみれば人気があると思いますね。高校生なんて核融合というキーワードには食いついてきますよね。

北島：勘違いしてもらってはいけないのですが、学生のある集団では人気があるというだけで、もうちょっと広い範囲の、ロボットだ宇宙だ、というふうなところで見ると学生はそっちの方にいきますね。

高橋：そうですね、それは確かにそうですね。やはりロボット・宇宙には負けますね。

八木：入ってきた学生さんが、その分野の研究に直接関連しない所に就職したりしますよね。

鈴木：でも核融合がやりたいといって学生に核融合の研究をさせたとしても、そのまま全員が大学の核融合の研究者にはなれないですよ。全体の関連する研究者の量というのは、産業界がどれだけそこに振り向くかというところで決まってしまう。

高橋：いや、おっしゃるとおりですね。

鈴木：そのフェーズにはまだ全然至っていないということは確かで、むしろ関連する中小の研究にどういったモチベーションを持たせるかというところが多分ポイントで、中小の研究が例えばトカマクとか ITER を支えるだけってことになる、そこをやっていた人たちというのは ITER に就職できなきゃ他に行く場所がないわけですよ。

高橋：私もさっきから言いたかったのは、結局は産業界、メーカーですよ。原子力の分野も、低迷時期は全部の原子力の人材を他の IT とかそっちに結構持っていかれちゃったのです。今慌ててそれをまた引き戻して原子力をやろうとしているのですが、でもそれじゃあ間に合わない状態で、メーカーも今は原子力に関しては人材がまったく足りない状況なのです。核融合の分野は私は知りませんが、結局ものを作るのはやはりメーカーじゃないですか。そこがどれだけ本気で人を割り当てて投資できる環境にあるかというのが、すごく大きなポイントになるのかなと思います。

星野：それでも 5 年くらい前までですかね、それまでは産業界も結構食いつきがよかったのですよ。我々の部門にも出向職員としてよく来ていたのですが、もうここ数年で逆に撤退されてしまうということになっています。今までは、核融合予算というのは原子力機構にどかんと降りていて、それで産業界に研究・開発をやってくださいと言ってプログラムを進めてきた。日本の景気は 2003 年から上がっていますが、同時に日本の財政事情が上がっているかというところではなくて歳出削減で下がっている。その煽り食らって予算がなくなった。機構も産業界に払うお金がなくなってしまったので、産業界ももうお金にならないのは撤退。彼らはそこら辺はシビアですから、その中で ITER とかが今決まってしまったから結構苦しい。機構の人間だけでやらなきゃいけないというふうになっている。材料を作るのも中小企業にだんだんと移行している。最初は川重だったり東芝だったりというのが、だんだん中小になって来ているといった経緯もありますね。

【核融合研究の裾野の広がり】

岡村：大学における核融合研究の裾野と言っては語弊があるかもしれませんが、一般の学生にとって核融合のイメージというのは、やはり開発研究の時間がだいぶ長く経ったので少し飽きられたという点はあると思いますか。一方でさっきの話じゃないですが、ITER でいろいろな課題が出てくると予想されて、その分研究はさらに進めないといけない。そのあたりの社会における核融合に対する感覚の変化するフェイズと、研究そのものの進展するフェイズのマッチングのずれという問題はありますか。

鈴木：私自身は今核融合に人気があると思っています。

岡村：周辺でかなりの学生の注目を集めている感覚があるということですか。

鈴木：はい。一方で国として大事な産業である原子力をやりたいと言う学生は、一時はまるっきりいませんでしたね。だから核融合で夢を持たせて廃棄物の研究をやらせる、そういう入口と出口だったのです。核融合が人気があるというのは、エネルギーが無尽蔵である、クリーンである、そのイメージが先行しているからこそ、今まだ人気があるのだと思っています。

でもそれが本当に ITER を作り始めると、トリチウムに関係したいろいろな問題は出てきますし、ITER とかその先のデモ炉を見ていくと、燃料は無尽蔵だけれど建てる材料が足りないよとか、多分現実がすごく見えてきて、それこそまさに八木さんのコミュニケーションの話が役に立つようなところになってくると思います。中期的には本当にエネルギー戦略として核融合が認められ、産業界例えば各社によって方式が違うモデルが出たりする。多分その頃になれば人はどんどん輩出するというふうに思いますけれども。

岡村：原子力関係のそういう学生の流れというのは、現状ではやはり核融合に比べると一桁とか大きな流れがあるのですか。

高橋：原子力は分野が広いですから、ケミカルなものから機械やら物理やらありますので、工学としてこれから広がっていく分野だと思いますし、人間の流れとしてもかなり大きな流れがあると思います。

岡村：核融合はそういう周辺というのかな、関連する部分の流れが意外とないのですね。炉工と炉心プラズマだけなのかなあ。

鈴木：いや炉工は新材料や原子力材料に繋がっていますよ。

坂本：やはり必要がないからじゃないかなあ。私が思うには、多分松永さんが言われた、大学にトカマクがないとかプラズマの小さい装置がないというのは、やはりある意味必要がないというか、学生が寄りつかないということであって、核融合というのは核燃焼をして初めて意味があるわけです。今言っている高温プラズマの閉じ込めというのはただプラズマを閉じこめているだけで、将来の発電とはまったく違っているわけですね。アルファ加熱をしてプラズマを自己燃焼させて自己維持するような状態を実現して

やっとな核融合のエネルギー源となるので、やはりそこに行かないと新たな問題が出てこない。新たな問題が出てくればそれをやる研究者も出てくると思います。

今高温プラズマの閉じ込めをやろうと思って小さな装置を作ったとしても、何も画期的には変わらないですね。今の段階ではもうやれるところはもう済んでしまっているの、研究の広がり感という問題にしても、研究のピークの高さを高くしないと裾野が広がっていかないと思います。そういう意味でも私は ITER が動き出すことでかなり変わってくると思います。

岡村：今まではどちらかというと八方広がりみたいな感じだったということですか。

坂本：今いくら周辺を広げても新たなフェイズにはいけないと思います。この分野でちゃんと研究を進めるためには、とにかく1歩前に出ないと、今は言い方は悪いけれど、重箱の隅をつついていっているような気がします。

岡村：ITER がそういう意味で新しいフェイズを切り開くというのは例えば15年くらい先であって、その先で裾野が広がるには1年ということではなくてたぶん5年か10年かかる。というと2-30年先になってやっとなフェイズが変わるという言い方になりますね。

鈴木：いや、私の意識の中では ITER をやると決まった時点で変わりつつあります。私は薄く広くというわけではなくて、炉工とプラズマと全部合わせて、むしろこれまでは小さなピークがいっぱいあるギザギザなような研究だったと思っています。関連した研究者でもまだ会ったことのない方も多いですし、それに自分の細分化された領域以外のことがよくわかっていない。すぐ隣の研究分野に接しているかという、そうでもないというところがある。だからそこに ITER という一つ大きな山というか、目標ができましたので。

坂本：今の場合はもう完全に要素で別れちゃっている感じがですね、プラズマと炉工は。

【炉心プラズマ研究と炉工学研究】

岡村：私も実はね、どっかで言い出そうとしてずっと思っていたのだけれど。

坂本：核燃焼でプラズマができれば、それはもう繋がるものですね。プラズマで中性子を出して、それによってブランケットの研究なり炉工と繋がってくるわけですね。

岡村：ここに集まった皆さんの研究分野のせいもあるけれど、炉心プラズマとブランケットと、坂本さんが言ったみたいに何か二つの別々の研究グループというか、それぞれが研究をやっている、それで全体はどうなっているのか、中間領域はないのかとかね、そんなふうに感じないですか。

八木：感じます。

岡村：普通に聞いていると少し異様な感じ。ブランケットと炉心はそれはもちろん重要な二つのコンポーネントであるけれど。

八木：何か実用化という目標の鏡があるのに、それで本当

に実用化に向かっているのかと疑問に感じる部分があります。それぞれに走っていったら、一番の問題点はその隙間のところに生まれてくるもののような気がするのです、その間にある接点の研究がないままに進んでいるというのは結構不思議な気持ちで見てしまいます。

北島: まさに坂本さんが言われたように、核燃焼のプラズマができれば本格的な核融合研究が始まるのですが、中途半端に先なのです。中途半端に先のところをどうするのというのは、松永さんが心配しているような要素なのですね。裾野の言っているものの中身が何もないと、結局ピークを高くしてもだめということもある。高くすると裾野が広がるという言葉は非常に良くして視覚的にも良いのですが、そのためにはいろんな要素を準備しておかないといけない。だから言っちゃなんだけれど、無駄なものも必要かと思う。実験装置に直に触れるようなものも必要で、確かに研究にとっては無駄かもしれませんが、人材育成にとって無駄かどうかというのは、また別の問題です。

鈴木: 炉工の材料研究を取ってみると多分すごくよくわかんと思います。炉工の材料研究というのは、核融合プラズマから中性子が出てくるらしい、とにかく照射に強い金属を作ろうとそればかりやっています。しかも大学の個々の研究室が中心になっていますから、私が言うのもなんですけれども、多分そんなに周りの勉強はしていないのです。お題目として知っていても、実際プラズマからどんな性質の中性子が来るのかとか、社会情勢がどんな研究を望んでいるのかなどは、遠い話なのです。

それをずうっとやってきたのですが、ITER のテストブランケットモジュールといってブランケットをとにかく形にして入れてみましょうというプロジェクトが立ち上がった。別に入れたからといって、デモ炉に向けた研究の大きな流れに直接影響する部分は小さいのですが、取りあえず入れてみようかという話し合いが始まったのです。それで話し合いが始まると、やはりどの材料をまず第一優先で入れようかという選択の議論が巻き起こり、それに部品を組み合わせたら腐蝕が問題だとか、表面を何とかしないとその二つの部品をくっつけられないねとか、そういうことがつぎつぎとわかってきた。いままで大学の研究室というのは自分の得意なところで、しかも良いデータを出すという方向に行っていました。今は逆に今まで見込みがなかったのが誰も手を出さなかったところ、そういうところに、要するにこの山の間ですね、そこに注目が集まってきているという変化が確実に起こっています。

だから、本当に ITER ができると言うのは非常に良いことで、デモ炉に向けて研究をやるべきところはめちゃくちゃ増えた。モチベーションが非常に上がっているということです。

【これから発展する新しい研究領域】

岡村: 炉工とプラズマで間が埋まっていないという話に関連して、ITER の時代になって研究者の質と言うかタイプ

と言うか、現在我々の回りにいるような研究者のタイプがそのまま継続していくことで済むのでしょうか。つまり新しいタイプの研究者が今後は必要になるということはありませんか。例えばブランケットの専門家と炉心プラズマの専門家と炉材料の専門家と、今の核融合研究者のパターンが、それぞれ自分の抱えている研究テーマをそのまま 20 年後・30 年後まで継続してやっている、というのが核融合研究の将来のイメージですかという、そういう質問です。

一同: うーん、どうですかねえ。

岡村: ITER まではイエスかな。そこから先は ITER の結果次第だから何とも言いようがないと。それもちよっと貧しい答だね。

鈴木: ITER で私が気になっているのは、トリチウムの取り扱いをどうするのかということです。

岡村: その辺は、明らかにもっと人が入ってもらわなければいけないね。

坂本: それに関しては、私は ITER の粒子供給のワークショップに行っているんですが、粒子供給はペレットでやるということは決まっていますが、トリチウムのハンドリングについては安全の専門家からトリチウムの専門家まで集めて、グループで一緒にやっていますね。ただしそこではブランケットでのトリチウム増殖の話は入っていません。少なくとも ITER のトリチウムハンドリングに関しては、違う専門の人が集まってやっています。

星野: 逆にブランケットに関わっているトリチウムの人達っていうのはまた別の研究グループなのですよ。

鈴木: いやトリチウムの人たちこそが、研究分野の間を繋ぐ人達なのです。

松永: 間を繋ぐのかなあ。間を繋がないといけないんだけど、結局はプラズマ側の方に偏っている状況。

岡村: このあたりの話、私が聞いても全然わかんないのだから、多分皆さん何を言っているのかわかんないんじゃないですか。

鈴木: トリチウムの人達というのは、元々水素の専門家なのでいろいろな分野を動き回りますね。材料との相互作用はどうなんだということにも関心があるし、放射性物質なので社会情勢とも一番関わりの深い工学でもある。しかし人数的には金属材料の研究者と比べても非常に人数が少ないので、その人達の興味はむしろプラズマ側に寄っていて、なかなか本来必要な研究分野をちゃんとカバーしきれない状況です。このような研究領域をしっかり追求するのが、溝が埋まる活動だと思います。

高橋: トリチウムは、ケミカルには水素と全く同じ物と考えて良いのですか。

鈴木: 同位体効果が少しありますが、そうです。

【50 年後の核融合研究のイメージ】

岡村: 少し先のことを議論したいのですが、20 年後の核融合研究というのは、世界の中で ITER かあるいはデモ炉

か、でっかいものが世界にはいくつかあって、それ以外にどのくらいの装置が相変わらず研究をやっているというイメージを考えますか。さらに言って 50 年後に、自分の好きなことができる核融合の閉じ込め装置がいっぱいあるという状況を想像しますか。

松永：50 年後ですか。世界の中に。

岡村：つまり、核融合研究の 50 年後の世界全体のイメージ。逆に言うと、そこでプラズマの高性能化研究というのがどれくらいまだ継続しているかということですね。ブランケットだったらどうなんですか、50 年後は。

星野：根本的に形が変わっているかもしれないですね。固体でもない液体でもない、違うものが。

岡村：何か良いものが一つ出てきて、それでも相変わらずそれ以外のものもゴソゴソやっている。何種類か、5~6 種類、延々と。

坂本：ブランケットに関しては、いったん実用化されたとしてもずっと改良し続けなければいけないものだと思います。

岡村：改善というのは続くね、たぶん。

星野：ひたすら改善をし続けてるんだと思いますね。

岡村：それも効率の 1 パーセント、2 パーセントを追求していくわけだからね。

坂本：原子炉の研究で京大の研究炉が、いつ頃までちゃんと研究として使われていたか、そういうのと共通の話ではないかと思います。

岡村：私のイメージでは 50 年後やはりプラズマの閉じ込め改善の研究は継続している気も少ししているんですよ。デモ炉が動いたとしても、その横でプラズマの閉じ込め改善研究は進んでいくのかなあと。

松永：その時は、産業界もある程度入ってきているんじゃないでしょうかね。ある程度メドが立てば黙って見てないでしょうから、産学連携みたいな感じで。希望としては ITER とかを進めていく中で何か新しいブレイクスルーが見つかって、50 年後はもっと良い方向にというか、より実用的な方に進んでいってほしいなと思うんですけど。そう思うと、メーカーとかが自分でそういう装置をもってそういう研究をしていると予想します。だからそういう意味ではもう我々の仕事は。

岡村：(50 年後には) ない。

鈴木：私が思う 50 年後は、楽観的かもしれないですけど、もう国とかでやる状況ではなくて産業界でやっている状況。だからインドとかブラジルの有名企業が何方式の炉、何方式の炉というのを作っていて、それがどんどん稼働していて、その改良がその会社の中で行われている。それで保守も含めてものすごい人数が必要になりますよね。たぶん 50 年後はそういうことになっている。今のよう、例えば一つの方式に集中して開発しているような不自然な状態がずっと続いていたら、もう見込みがないということなんじゃないかと思います。

松永：東芝と日立でしたか、アフリカなどで原子炉を落札

して今は景気がいいみたいな話を聞きますけれども、あれなども方式がいくつかあるんですかね。だから逆に言うと、今のそういう原子炉業界みたいなものに置き換わっているというか、そういうレベルになってほしいです。

八木：その頃にそのくらいになって実用化されていないと、さすがにもう社会に許容されなくなっているという気がするんですけども。そこで「いや、まだ」って言うのなら、ちょっと。

鈴木：だからやっぱり、50 年後には 100 基できていないとだめですよ。

八木：イメージとしてはそういう印象がありますが、確かにスタートからみれば 100 年後みたいな感じになるわけですね。

岡村：今は 50 年だから。

八木：そこで「いやあ、まだ研究の途上で」と言われるのはどうなんでしょう。

鈴木：やはり責任は持ちましょうよ、若手と呼ばれているんで。

【ITER で決着がつくことは何か】

八木：逆に言うと、ここにふさわしい話題かどうかわからないんですけど、実用化は困難という「見切り」ってどこでつけるのかなというのが正直言ってわからないところがあって。可能性は当然いつまでも残るんですけども。

坂本：それは、本当はフルサイズの ITER で見切りをつけるはずだったんじゃないですかね。それを小さくしたところでもう話が違ってきて。今は言いわけができる装置になっているので。

八木：ああ、なるほど。

坂本：これはまだ小さいから、核融合はもっと大きなのを作ればできるという言い方をする余裕が出ているから、僕はそれがすごく残念だと思うんです。

後藤：こっちから「もうだめです」ということはないんですか。やっぱり予算がもう出なくなったりとか。

岡村：だから、見切りをつけるというよりも見切りをつけられる方なんですかね。

鈴木：私はどちらかと言ったら間だなあ。できるできないというのは一つの要素技術の話をしているのであって、トータルでは作るべきか作らざるべきかだと思うんです。まだその判断までいっていないということだと思います。例えば、もんじゅだつてできていますよね。だからある意味ではあと 700 年は平気なんです。だけどそれを使うべきか使わざるべきか、それを決断する時が必ず来るわけです。

坂本：その問いに答えられる状況になっていないのは確実です。プラズマの面から言うと、それは核燃焼プラズマの維持ができるかどうかということなので、本当に ITER である程度のことが見えてくるのではないかと思いますね。

鈴木：我々の分野でも柱が 1 年もつかどうかという話だけしていますから。だから本当に ITER が転換点だと思いますよ。繰り返しになりますけれども、まさに八木さんのよ

うな方が参加してくださって、デモ炉についてそういう話ができるようになったというところですので。

岡村：ITERは核燃焼制御というのがもちろん第一の目的ですが、ブランケットの場合核燃焼制御ができるかできないかというのと似たような、そういう課題設定という意味ではどういう言い方になるの。

星野：ブランケットはあくまでもプラズマ側に悪影響をもたらさない範囲で研究をしてくださいという位置づけです。

岡村：連続的な研究の一つのフェイズというふうな言い方かな。

星野：はい、そうです。

岡村：だからITERのブランケットで、なにかに○×をつけるというような意気込みというよりは、ずっと継続して研究している中の一つのフェイズ。

星野：本来ならば○×をつけたかったというのがあってすけれど。

岡村：できればつけたかった○×というのはどういう○×なんですか。

星野：要するに固体増殖に水冷却が成り立つのか、固体増殖にヘリウム冷却が成り立つのか、液体リチウムが良いのかと。○×だけじゃなくても、優先順位くらいはやっぱり決めたいねということです。

鈴木：優先順位くらいは決めたいねって思っていたわけですが、熱の取り出しは一切ないですからね。プラズマから0.5ギガワット発生するのと比べてゼロと言わざるを得ないですね。それからトリチウムの増殖という面でもデモ炉と比較するとゼロです。あとは構造材も本番で使う材料は一切使っていませんから、そういう意味でもゼロですね。照射もないので、唯一あるのがトリチウムの大量取り扱いです。

岡村：そうするとブランケットの課題は、次まで持ち越されるということになりますか。

鈴木：そのとおりです。

岡村：総合的な核融合というのは、デモ炉までいかないと何とも言えないっていう言い方になりますね。

星野：核燃焼プラズマ実験装置ですから。

北島：でも、画期的なことですよ。

坂本：初めて見るものですから、人類が。

鈴木：画期的ですよ。

【終わりに】

岡村：もう大分時間もなくなってきましたので、高橋さん、八木さん、締めコメントをください。

高橋：すごく私は面白く聞かせていただきましてありがとうございました。一つ驚いたのが、これだけ若手の専門家が集まっていらっしゃるのに、まだわからないことがかなりあるんだなあということがわかり、でも工学的にそれは踏まなきゃいけないステップなので、これから核融合の人たちも大変なんだなあというのを正直感じました。

原子力は核融合ができるまで何とかそのエネルギーを支えなきゃいけない。さらに高速増殖炉がどうなるか、その核燃焼サイクルも難しいところにきていますが、次の核融合にバトンを渡せるようにがんばりたいと思いますので、核融合の方もぜひがんばっていただきたいなあと思います。ありがとうございました。

八木：私も話に全くついていけなかったらどうしようと思いつながら来たんですけど、非常に面白く全体を聞かせていただいて勉強になりましたというのが率直のところですよ。一点思うのは、私、今日はコミュニケーションの立場で来ましたが、核融合はまだ対住民とか対社会というところのフェイズではないのかなと思います。むしろ核融合の研究はこんなにいろいろな分野なり研究機関があるのなら、こういう場でいろいろなフリーな話ができるような状況があれば解決できるものはたくさんあると思いつながら、話を聞かせていただきました。ありがとうございました。

岡村：ありがとうございます。ではこれにて。

「若い世代は核融合研究の将来をどう描くか」座談会出席者の紹介

この企画の中で、核融合研究の未来を語る座談会の出席者を選ぶ際には、次のような観点を取りました。まず、将来の研究を担う方々に語っていただくという点で若手研究者を中心とし、また今後の核融合研究の展開を考えると、現在の関連する研究分野の範囲がそのまま継続するとは考えられないことから、核融合研究分野以外の方にも加わっていただきました。（五十音順）

後藤基志：（ごとう もとし）

核融合科学研究所大型ヘリカル研究部助教。専門はプラズマ分光学。大型ヘリカル装置 LHD において分光計測全般を担当。主にプラズマ周辺部の粒子輸送に関する研究を行っている。

小林進二：（こばやし しんじ）

京都大学エネルギー理工学研究所助教。学生時代にタンデムミラー(GAMMA10)、博士研究員でトカマク(JT-60U)の研究に従事。現在は中型ヘリカル装置ヘリオトロン J で、主に NBI プラズマのエネルギー閉じ込め・高速粒子輸送の研究を進めています。研究対象は 3 次元になりました。

坂本隆一：（さかもと りゅういち）

核融合科学研究所大型ヘリカル研究部准教授。核融合科学研究所の LHD 実験に立ち上げ時から参加し、高温プラズマにおける粒子制御に関する実験研究に従事。核融合炉における燃料供給法の確立をめざし、固体水素ペレット入射実験を中心として研究を進めている。

鈴木晶大：（すずき あきひろ）

東京大学大学院工学系研究科原子力専攻准教授。主に液体増殖方式ブランケットにおける核融合炉材料研究、ブランケット工学研究、トリチウム工学研究に従事。平成 12 年から平成 16 年まで核融合科学研究所炉工学研究センターに在籍し、平成 16 年から現職。炉材料の腐食、液体増殖材中でのトリチウム挙動、炉材料表面への絶縁・耐食・トリチウム透過防止セラミックコーティングの開発、IFMIF の Li ターゲット純化などに取り組んでいる。

高橋 信：（たかはし まこと）

東北大学大学院工学研究科、技術社会システム専攻准教授。平成 3 年東北大学工学研究科原子核工学専攻博士課程修了後、平成 4 年から平成 8 年まで京都大学原子エネルギー研究所助手。平成 8 年東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻助手、平成 12 年同助教授、現在に至る。原子力プラントにおける知識情報処理、大規模機械システムのヒューマンインタフェース設計と評価に関する研究に従事。近年は、脳機能解析によるヒューマンインタフェースの評価という新たな分野に取り組んでいる。

星野 毅：（ほしの つよし）

東京大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻博士課程修了。工学博士。現在、日本原子力研究開発機構の研究員。核融合研究開発部門・核融合エネルギー工学研究開発ユニットに所属し、ITER テストブランケットモジュールに関する研究開発に従事。主に核融合炉の燃料製造に必要な先進固体トリチウム増殖材料の開発および各種特性評価を行う。

松永 剛：（まつなが ごう）

日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門・先進プラズマ研究開発ユニット研究員。工学博士。名古屋大学大学院に在学中、核融合科学研究所の CHS 装置にて高エネルギー粒子不安定性の研究に従事。その後ドイツ・ユーリヒの TEXTOR トカマクでポスドクとして研究。現機構にて博士研究員を経て現職。現在、大型トカマク実験装置 JT-60 で高 β プラズマの MHD 不安定性研究に従事し、高 β プラズマの定常維持をめざす。

八木絵香：（やぎ えこう）

大阪大学コミュニケーションデザイン・センター特任講師。専門は、科学技術社会論、ヒューマンファクター研究および、災害心理学。2002 年から、原子力について市民と専門家、または意見を異にする専門家同士が対話する場を企画、ファシリテーターとして活躍する。最近では、原子力に限らず、先端科学技術に関するコミュニケーションについて、実践・研究の両面から従事している。

岡村昇一：（おかむら しょういち）[司会]

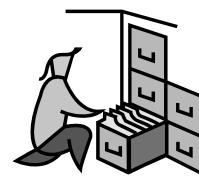
核融合科学研究所大型ヘリカル研究部教授。高温プラズマの磁場閉じ込め研究を、直線型ミラー・カスプ複合系、ヘリカル・トーラス系と続けてきた。核融合科学研究所の中型閉じ込め装置 CHS の実験では、実験グループの中心的な役割を果たす。現在はシミュレーション科学研究部研究主幹。プラズマ・核融合学会常務理事(2004-2007)。

北島純男：（きたじま すみお）[司会]

東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻准教授。立体磁気軸系のプラズマ閉じ込め研究を続けてきた。立体磁気軸系閉じ込め装置の一種である小型プラズマ閉じ込め装置東北大学ヘリアックにおいて閉じ込め改善モードの基礎実験を進めている。プラズマ・核融合学会誌編集委員（2006-2008）。



フローチャートにみる核融合の 50 年



フローチャート作成：松岡啓介

核融合研究 50 周年の記念事業として座談会等が企画されるにあたり、年表と研究の流れをわかりやすく示すフローチャートを作成することとなった。核融合科学研究所・核融合アーカイブ室所蔵の史料等に基づき既に作成されていた約 2,500 項目に及ぶ年表データベースから、核融合研究の 50 年を語る上で欠かせない事柄と考えられる約 600 項目を抜粋し年表を作成した。フローチャートは年表を基に作成された。最終的には作成者の判断でプロジェクトおよび装置の規模、研究成果およびイベントの重要度を考慮し掲載事項を選択した。

一方、写真や資料の収集も行った。湯川秀樹が 1950 年代の核融合研究の草創期に果たした役割の大きさに鑑み、その一端を紹介する。湯川がプラズマ・核融合学会の前身である核融合懇談会の初代会長であったことは比較的良く知られている。1958 年 2 月 10 日の核融合懇談会の設立に当たっての手書きの挨拶文および懇談会設立の当日及び翌日に開催されたシンポジウムにおける手書きのメモを表紙、裏表紙等に掲載した。星の中は核融合炉という認識のもとで、1955 年 2 月に京都大学湯川記念館において、天文と原子核を結ぶ境界領域のセミナーが開催された。表紙の写真はその時のものである。当時、湯川は国の委員会や国際会議等においても重要な寄与を行っている。一方、あまり知られていないが、朝永振一郎も核融合の黎明期において貢献している。

それらのうちで、原子力委員会、第一回原子力平和利用国際会議（ジュネーブ会議）及び第二回ジュネーブ会議に関連する写真を以下に掲載する。

フローチャートの作成過程でご教示いただいた方に感謝します。湯川史料の発掘については、大林治夫氏の調査に負うところが大きい。

湯川秀樹に関する資料・写真は京都大学基礎物理学研究所湯川記念館史料室のご好意によるものである。

核融合の歴史を知る上で有用と考えられる図書及び文献を次ページに掲載した。



写真① 原子力委員会初会合（1956 年）。左から、有沢広己、藤岡由夫、正力松太郎・委員長、石川一郎、湯川秀樹。



写真② 第一回ジュネーブ会議に参加するための予算要求に関する打ち合わせ（1955 年）。学術会議原子力問題委員会。朝永振一郎（中央）、写真には写っていないが、伏見康治も出席している。（ID:428-01）



写真③ 第二回ジュネーブ会議（1958 年）。中央に湯川秀樹。



参考図書・参考文献

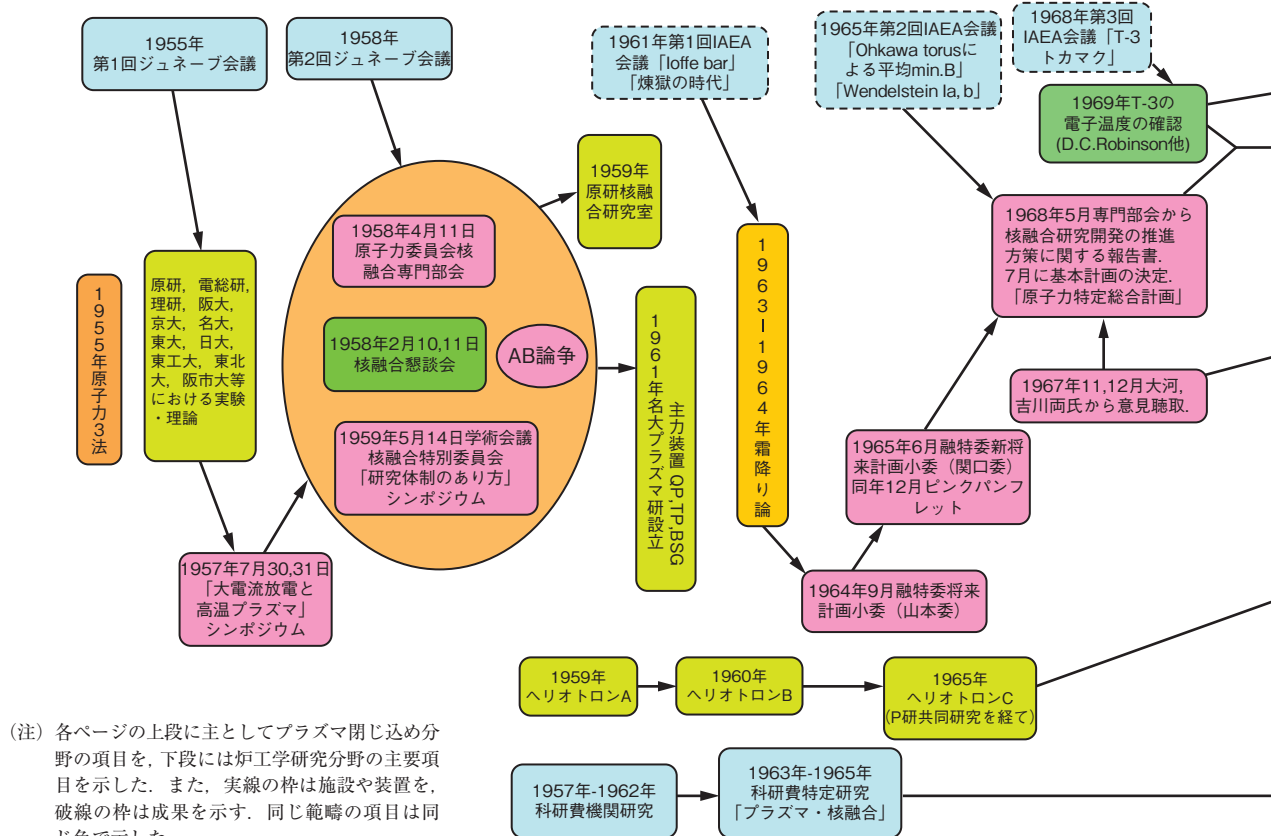


核融合の歴史を知る上で、参考になるとと思われる主な図書及び文献を掲載した。(順不同)
なお、主眼が核融合の歴史ではないプラズマ、核融合の教科書(和書、洋書)、解説本などにも、プラズマ閉じ込め装置の経緯など、歴史に関する若干の記述が含まれるものもあるが、ここでは省略した。

- ・“核融合研究 ヘリコン計画(京大 核融合研究グループ)” 科学朝日 20 (2), 11 (1960)
- ・核融合懇談会 20 周年記念特集号 (1); 核融合研究 43 別冊その 5 (1980). 【核融合研】
- ・核融合懇談会 20 周年記念特集号 (2); 核融合研究 43 別冊その 6 (1980). 【核融合研】
- ・早川幸男, 木村一枝: サロン“核融合研究事始め (1)” 核融合研究 57(4), 201-214 (1987). 【核融合研】
- ・早川幸男, 木村一枝: サロン“核融合研究事始め (2)” 核融合研究 57(5), 271-279 (1987). 【核融合研】
- ・早川幸男, 木村一枝: サロン“核融合研究事始め (3)” 核融合研究 57(6), 364-378 (1987). 【核融合研】
- ・R. Herman: *Fusion: The Search for Endless Energy* (Cambridge University Press, 1990). 【原子力機構】, 【核融合研】
【邦訳】見角鋭二: 核融合の政治史 (朝日新聞社, 1996 年 4 月). 【原子力機構】, 【核融合研】
- ・西尾成子: 核融合研究の歴史 委託調査報告書 (1995 年 2 月) (ID:075-01), 【核融合研】
- ・西尾成子: 核融合研究発展に関する情報収集及び調査委託調査報告書 (1996 年 2 月) (ID:075-02).
- ・西尾成子: 核融合研究発展に関する情報収集及び調査委託調査報告書 (1997 年 2 月) (ID:075-03).
- ・山本賢三: 核融合の 40 年ー日本が進めた巨大科学ー (ERC 出版, 1997 年). 【原子力機構】, 【核融合研】
- ・山本賢三・小泉興一: 核融合研究開発の余録 JAERI-Review 2002-023 (2002 年 9 月). 【原子力機構】
- ・西川恭治: “大学等における核融合研究体制の変遷ー核融合科学研究所設立の経緯ー 多極分散化から一本化へ” 原子核研究 45(4), 71-151 (2000). 【核融合研】
- ・西尾成子他: 「日本の核融合研究開発の経緯 1965ー1986 関口忠氏インタビュー記録」, NIFS-MEMO-33 (2001 年 12 月). 【核融合研】
- ・西尾成子他: 「1980 年代後半以降の日本の核融合研究開発の経緯 関口忠氏インタビュー記録」, NIFS-MEMO-40 (2003 年 3 月). 【核融合研】
- ・山中千代衛: 慣性核融合研究開発史ーレーザー核融合パイオニア物語ー (レーザー核融合技術振興会 IFE フォーラム, 2006 年). 【原子力機構】
- ・プラズマ研究所ー〇年の歩み (1972 年). 【核融合研】
- ・プラズマ研究所二五年史 (1986 年 12 月). 【核融合研】
- ・核融合科学研究所一五年史 (2006 年 3 月). 【核融合研】
- ・原研十年史編集委員会: 原研十年史 (1966 年 6 月). 【原子力機構】
- ・原研二十年史編集委員会: 原研二十年史 (1976 年 6 月). 【原子力機構】, 【核融合研】
- ・原研三十年史編集委員会: 原研三十年史 (1986 年 6 月). 【原子力機構】, 【核融合研】
- ・原研四十年史編集委員会: 原研四十年史 (1996 年 6 月). 【原子力機構】, 【核融合研】
- ・日本原子力研究所: 原研 30 年のあゆみ (1986 年 6 月). 【原子力機構】
- ・日本原子力研究所: 原研 35 年のあゆみ (1991 年 6 月). 【原子力機構】
- ・日本原子力研究所史原研史編纂委員会: 日本原子力研究所史 (2005 年 3 月). 【原子力機構】, 【核融合研】

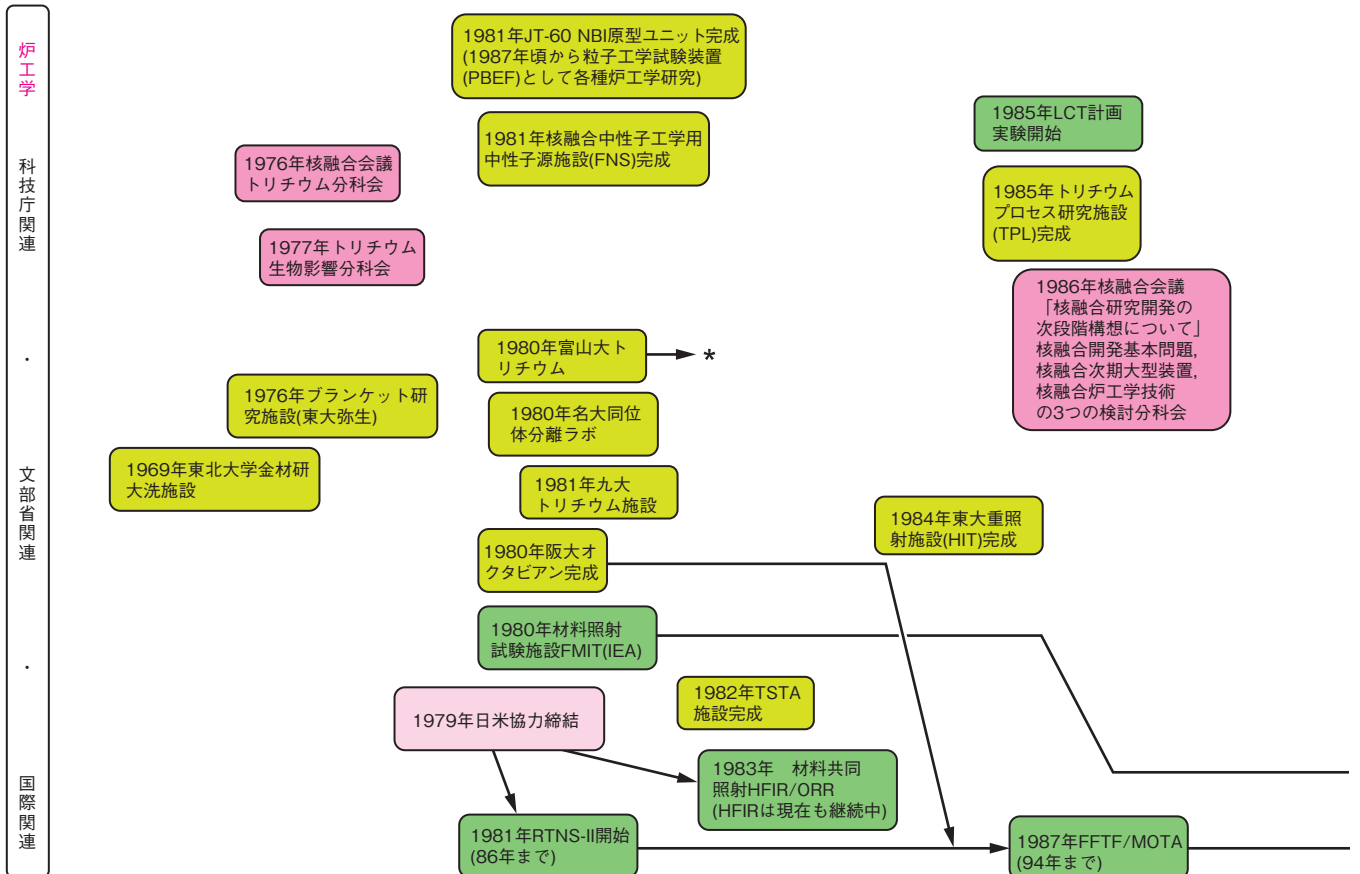
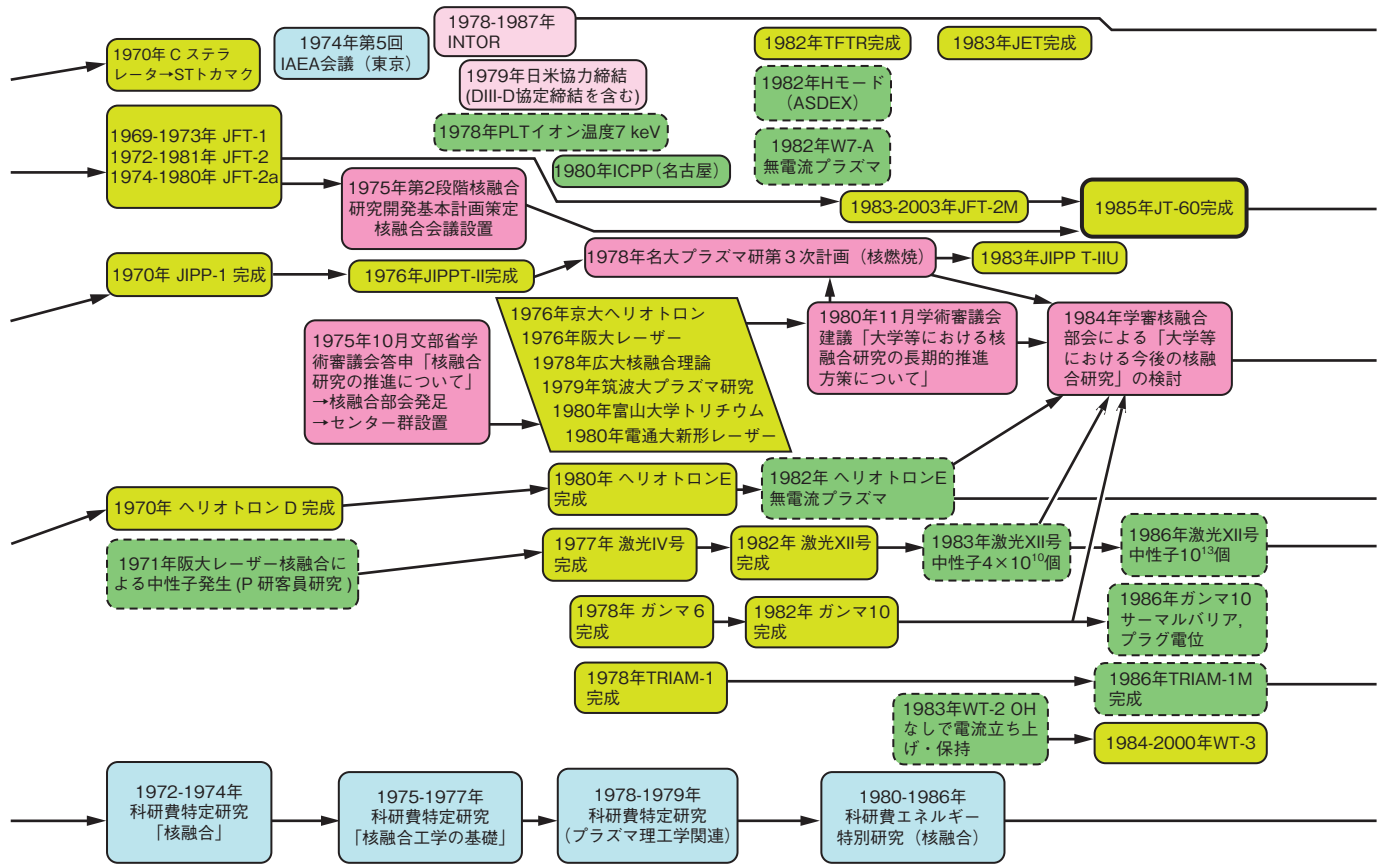
【註】

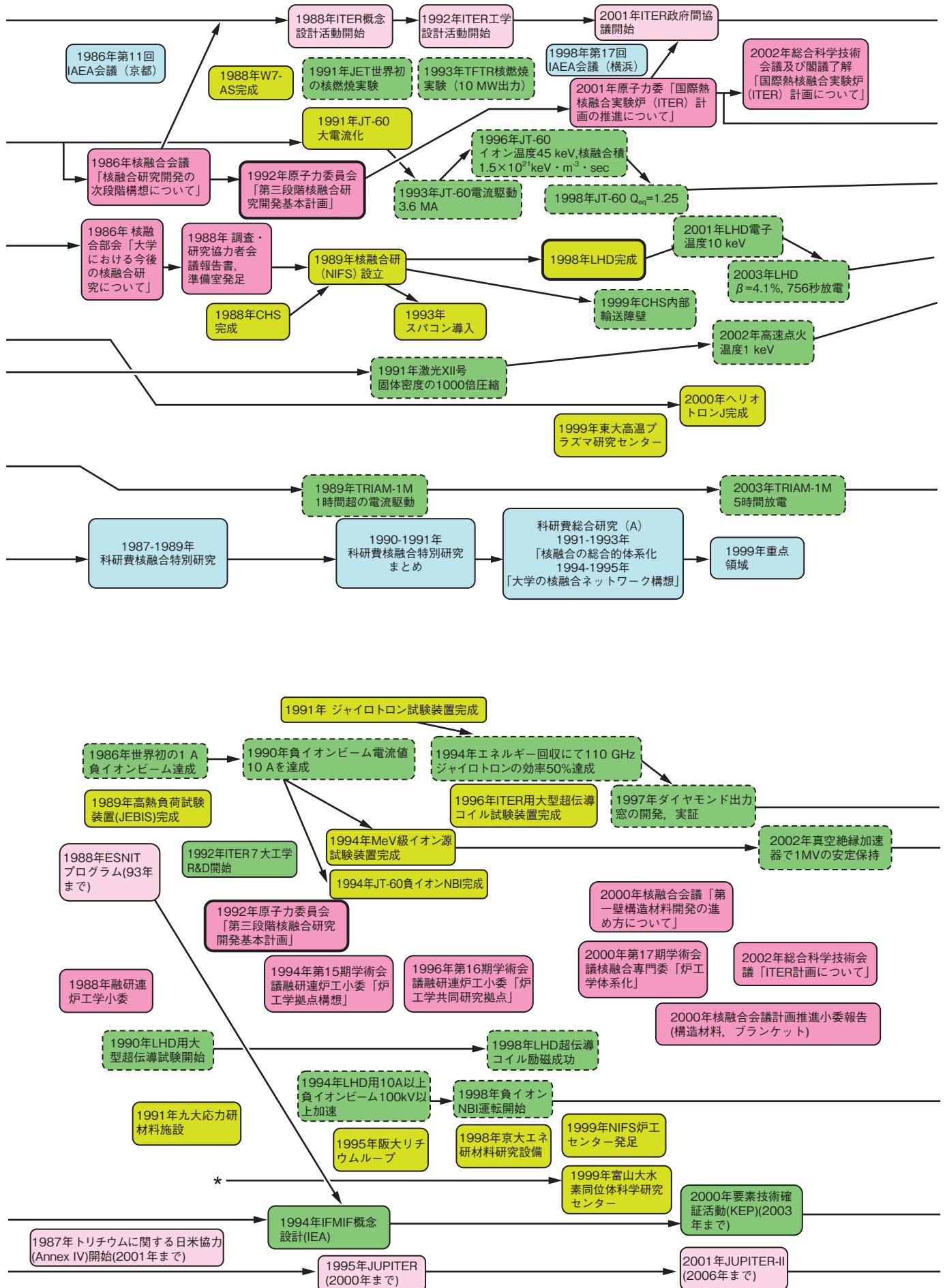
1. 上記の文献中“ID 番号”が付されたものは、核融合科学研究所・核融合アーカイブ室の資料番号である。
2. 上記に紹介されている図書・文献の多くは、大学等の研究機関において閲覧することが可能と考えられるが、【核融合研】と記されたものは、核融合科学研究所・図書室において、【原子力機構】と記されたものについては、原子力研究開発機構那珂核融合研究所・図書室において閲覧が可能である。



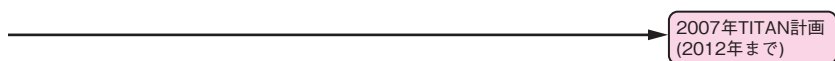
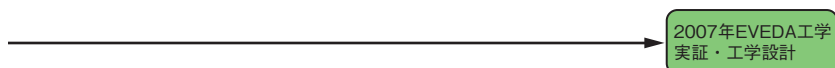
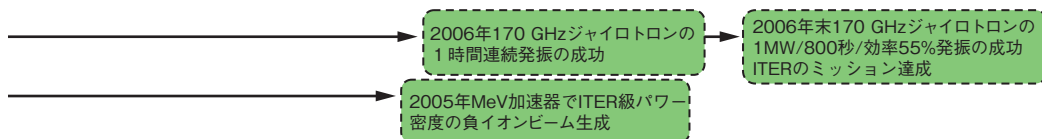
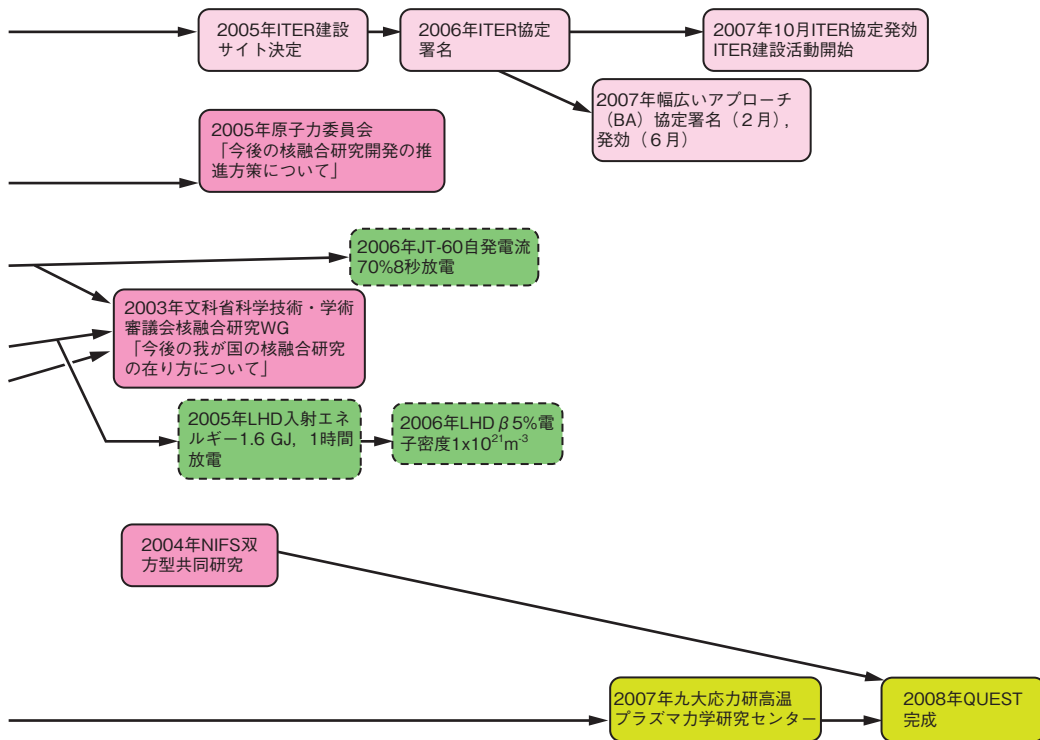
科研費は、各時代を通して核融合研究の進展に大きな役割を果たしたが、特に、1980年代のエネルギー特別研究（核融合）の役割は大きい。

フローチャートにみる核融合の50年





フローチャートにみる核融合の50年



2008年9月30日作成



用語解説



【A 計画, B 計画】

第2回ジュネーブ会議(1958)の頃、内外の研究情勢に鑑み、原子力委員会核融合専門部会では、我が国の核融合研究推進にとって重要な2つの計画路線を指摘した。(A計画)新しい着想の育成と具体化、プラズマの基礎的研究重視。(B計画)中型装置の建設、それによる高温プラズマ実験と技術開発。いずれの路線を進むべきかについて、研究者間の意見が分かれ、学術会議シンポジウム、核融合懇談会総会などの場でも討議(A-B論争)がなされた。1959年夏、B計画のための次年度予算措置を要求するか否かの具体的判断を迫られた核融合専門部会では、慎重な検討の結果、最終的に要求を見送り、A計画の先行が決まった。

【IFMIF】

International Fusion Materials Irradiation Facility の略称。原子炉では模擬できない14MeV中性子の材料照射試験施設。幅広いアプローチ(BA)活動の一環として、EVEDA(工学実証・工学設計活動)を2007年度より開始。

【ITER】

ITER(イーター)は、平和目的の核融合エネルギーが科学技術的に成立することを国際協力によって実証するためのトカマク型核融合実験炉。ITER計画への参加国は、日本、欧州連合、ロシア、米国、中国、韓国、インドの7ヶ国で、カダラッシュ(フランス)にITERを建設することが決定され、現在建設中(2008年8月現在)。

【INTOR】

International Tokamak Reactor の略。IAEAの下で日本、米国、EC、ソ連が参加して1979年～1987年に設計研究を行ったトカマク型核融合実験炉。

【科学技術学術審議会】

旧文部省の時代には、学術審議会と呼ばれた大臣の諮問機関。委員数30名以下。重要事項は委員全員からなる総会で決定。内部組織として特定研究領域分科会があり、核融合部会はその1つ。部会は、委員と専門委員で構成。大学関係の核融合研究に関する審議会の見解表明としては、大臣諮問に対する答申(1975)、建議(1980)、報告(1983,1987)、等がある。2001年の省庁再編後は、文部科学省の科学技術・学術審議会となり、学術分科会がこれに属している。

【学術会議核融合特別委員会】

日本学術会議(第5期)は、核融合懇談会からの申し入れを機に、我が国の核融合研究のあり方を検討する場としてこの特別委員会を設置した。原子力委員会等でA-B論争が行われていた1959年4月に発足(初代委員長は伏見康治。略称は融特委)。その後、学術会議の各期毎に改組・変遷を重ねたが、後継委員会を含め一貫して、研究体制や将来計画立案など核融合に関する研究行政全般への、研究者の意見を集約する中心組織となった。

【核融合エネルギーフォーラム】

大学、研究機関、産業界などの研究者・技術者並びに各界の有識者などの参加を広く求め、核融合エネルギーの実現に向けた研究・技術開発の促進を支援することを目的として、その趣旨に賛同する会員の自主的参加により構成される団体。日本原子力研究開発機構及び核融合科学研究所が連携して事務局を務めている。

【核融合会議】

原子力委員会の下に1975年11月に設置された有識者による会議で核融合研究開発に関する計画の総合的推進および連絡調整などについて審議。省庁再編に至る2001年3月まで活動。

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/old/kakuyugo/index.html>

【核融合開発検討会】

日本原子力産業会議(2006年4月より協会に改組)の下に設置され、核融合開発における産業界の立場と役割—第三次報告書—(主査:井上信幸,2006年3月)をとりまとめた。

http://www.jaif.or.jp/ja/news/2006/fusion_report2006.pdf

【核融合技術懇談会】

1980年に日本原子力産業会議に設置され、核融合をめぐるトピックスや課題等について議論。

【核融合研究開発懇談会】

原子力委員会が、第二段階におけるわが国の核融合研究開発の推進方策について長期的且つ総合的見地から検討することを目的として、1973年5月に設置した懇談会。審議期間は1年間。構成員は、井上五郎、武藤俊之助らの原子力委員の他、日本原子力研究所、学界、産業界、マスコミの代表者からなる。

【核融合懇談会】

1958年4月に湯川秀樹を初代会長として発足した研究者の自主的な組織。同年2月の設立集会在実質的な発足。1983年3月に活動を終了し、プラズマ・核融合学会に発展的に移行。

【核融合ネットワーク】

平成8年より全国規模で活動開始。核融合科学と核融合炉工学の和集合にプラズマ科学が一部加わる構成。登録は随時自由。現在約550名。<http://f-net.nifs.ac.jp/index.html>

【核融合反応懇談会】

原子力委員会傘下で1957年2月に第一回会合。情報交換と研究者相互の連絡を密にして効果的に研究を進めることを目的とする。原子力委員（湯川秀樹、有沢広巳、石川一郎、藤岡由夫）の他、伏見康治（阪大）、嵯峨根遼吉（原研）、杉本朝雄（原研）、林忠四郎（京大）、中村誠太郎（東大）、畑中武夫（東大）、本多侃士（東大）、岡田実（阪大）、後藤以紀（電気試験所）、山本賢三（名大）、宮本梧楼（東大）、早川幸男（京大）らの有識者で構成。会長に湯川秀樹、幹事役に法貴四郎（原子力局次長）。

【原子力委員会核融合専門部会】

1958年4月、核融合研究推進の初期にその基本方針を審議するため、原子力委員会に設置された部会。（湯川秀樹部会長）A計画およびB計画からなる研究推進方策について、学術会議や核融合懇談会と率直な意見の交換を重ね、討議を深めた結果、A計画の先行を決定した。部会は、全15回の会合を経て、1960年10月に報告書「核融合反応研究の進め方について」を取りまとめて終結。

その後、1957~68年、原子力委員会は、核融合の総合装置を原子力長期計画に反映させる第一段階計画検討のため、（第2次）核融合専門部会（菊池正士部会長）を組織した。

なお、省庁再編後2001年7月に内閣府原子力委員会のもとで、核融合研究開発の総合的かつ効率的推進に必要な調査審議を行うため、同一名称の委員会が設けられ、現在に至っている。

【霜降り論】

1960年代前半は、閉じ込め研究が軌道に乗らず、特別事業費の要求が認められない等、予算的にも苦しい時期であり伏見康治プラズマ研究所所長によって「核融合研究に霜が降りる」と評された。

【総合科学技術会議】

総合科学技術会議は、内閣総理大臣及び内閣を補佐する「知恵の場」として、我が国全体の科学技術を俯瞰し、各省より一段高い立場から、総合的・基本的な科学技術政策の企画立案及び総合調整を行うことを目的とし、平成13年1月、内閣府設置法（平成11年法律第89号）に基づき、「重要政策に関する会議」の一つとして内閣府に設置された。会議の議長は内閣総理大臣。

【第二段階核融合研究開発基本計画】

我が国の段階的核融合研究開発のために、原子力委員会が昭和50年7月31日に策定した第二段階目の基本計画。トカマク型の臨界プラズマ試験装置（JT-60）の開発と、さらに、核融合実験炉の開発等に必要で研究に長期間を要する技術等の研究開発を行い、第三段階以降の研究開発に反映させる計画。

【幅広いアプローチ（BA）活動】

核融合エネルギーの早期実現、およびITER（国際熱核融合実験炉）を支援するため、日本国政府と欧州原子力共同体（EURATOM）が共同実施する国際プロジェクト。実施地は青森県六ヶ所村及び茨城県那珂市で、実施期間は、ITER建設と概ね合致する期間として10年間の計画。

【6公4民】

全国共同利用研究所であるプラズマ研究所の所員にとって任務とされる活動には、所外から申し込まれた共同研究課題の円滑な実施（公）と、自分の関心に基づく自由な個人研究（民）の両側面がある。両者に費やす努力や時間の配分を、昔の租税になぞらえて「6公4民」などと称した。

おわりに

特集号を振り返って

巻頭言にも記されているとおり、当学会では、「核融合 50 周年記念事業」を立ち上げ、学会誌特集号「我が国における核融合の歴史と将来展望」を発行した。

一連の「核融合の歴史を遺す座談会」では、核融合研究の先達から核融合に対する熱意と情熱がメッセージを通して伝えられた。これこそが、先達が予め敷かれた道を進んでいったのではなく、研究者仲間、行政、或いは海外のパートナーに働きかけて、新たな研究の展開や方向付けと、その実現のための研究組織や協力枠組みを作ってきたことの原動力であり、そこに個人の果たした役割が極めて大きかったことを学びとるものである。

かつて産業界が自助的努力も含め、惜しみなく核融合に人材を投入した背景には、先達が描き、民間、行政、政治の支持を得ながら作り上げていった国の明確な目標があった。今、足踏みの 10 年を経て、ようやく ITER 時代が始まろうとしている。幅広いアプローチやロードマップの検討に見られるように、研究者は次世代エネルギーの実現に向かって何が真に必要なかという検討に眼を向けつつあるが、同時に社会に対して何時どのように役立つかについての問いに応えなければならない。これからがエネルギー開発を標榜してきた研究者の真価が問われるものである。

ITER の建設の路線が敷かれたとはいえ、ITER でどのような研究をするか、どのように使うかについて、その具体化や関連研究など幾重にも考える自由度がある。その先の発電炉まで考えればさらに広い選択肢がある。これらの研究開発のシナリオと重要度の付与は今後の研究者に任されている。どのような知見に基づき、どのような最終目的を描き、如何に意見集約し、いかなる施策に繋げてゆくかも含め、自由である。研究開発は一つのシナリオ通りに行かないことはしばしばであり、その時の対応も考えておく必要もあろう。核融合炉の将来像が現実味を帯びて描けるようになってきた今こそ、これらの今後の研究開発の課題と方向性を議論できる環境が整ったといえよう。そのためには、これまでなされた議論を十分に理解したうえで、一段高いレベルでの議論が必要である。本特集号が、かかる目的の一助となれば幸いである。

最後に、日本の核融合の発展に対して産業界からの貢献は極めて大きなものがあった。国内の大学や研究機関に作られた、大型中型の核融合装置において、企業の製作技術に問題があって研究開発が滞ったという話を殆ど聞かなかったことは産業界の技術レベルの高さを示している。産業界が果たした役割の詳細については別途学会誌に特集記事「核融合における技術革新」として纏める予定である。

今回の座談会あるいは書簡の交換を今後活かすためには、適切なフォローアップが必要である。この核融合 50 周年記念事業を契機に、シンポジウムの開催、学会誌での誌上討論などの企画を通して核融合の将来について議論を深める機会を設けるべく努力していきたい。

実行体制

2006 年度から準備検討が始められ、2007 年度当初より理事会の下に下記学会員による委員会が設置された。同年 9 月、正式名称を「50 周年記念委員会」とした。

委員会メンバー：松田慎三郎（委員長、会長）、森雅博（幹事、理事）、秋山秀典（理事）、岡村昇一、相良明男、高村秀一、田中和夫（理事）、中村幸男（常務理事）、難波忠清、藤田順治、松岡啓介。

50 周年記念委員会では委員以外の方の協力を得て、小委員会を設け、以下の企画を実施した。

(1) 核融合の歴史を遺す座談会

小委員会：藤田順治（委員長）、難波忠清（幹事）、石野栞、小川雄一、河村和孝、佐藤徳芳、高村秀一、田中茂利、西川恭治、二宮博正、水内亨、山中龍彦、吉田善章

(2) 核融合の現状と将来

小委員会：田中和夫（委員長）、相良明男（幹事）

・「メディアと核融合の対話」（往復書簡）

小委員会サブグループ：田中和夫

・「産業界から見た核融合」（座談会）

小委員会サブグループ：岡野邦彦、相良明男

・「総合化の流れの中で大学は何をなし得るか」（往復書簡）

小委員会サブグループ：吉田善章、高村秀一

・「若い世代は核融合研究の将来をどう描くか」（座談会）

小委員会サブグループ：岡村昇一、北島純男

(3) フローチャートにみる核融合の 50 年

小委員会：松岡啓介（委員長）、二宮博正

以上の企画を特集号に纏める編集作業は 50 周年記念委員会の責任によって行い、ここに発刊の運びとなった。事務局側の編集作業は北澤が担当した。

謝辞

座談会、往復書簡などへの参加者をはじめ、本事業にご協力いただいた方々に深甚な敬意と感謝の意を表したい。特集号の編集作業、予算管理をはじめ、あまたの無理を聞きながら協力された事務局メンバーに対しても深く感謝する。

また、核融合研究の歴史を示すフローチャートの作成にあたっては、年表データベース等の構築に尽力された核融合科学研究所核融合アーカイブ室関連のメンバー、特に木村一枝、花岡幸子の両氏に感謝する。

50 周年記念委員会 委員一同

本学会の活動は、長年にわたる賛助会員からのご支援によって支えられてまいりました。核融合50周年記念特集号の発刊にあたり、2008年10月1日現在の本学会賛助会員を掲載し、ここに感謝の意を表します。

(社)プラズマ・核融合学会 賛助会員

(株)IHI	セイコー・イージーアンドジー(株)	日本ガイシ(株)
愛知電機(株)	大成建設(株)	(独)日本原子力研究開発機構
(株)IDX	中国電力(株)	(社)日本原子力産業協会
(株)荒川印刷	中部電力(株)	日本原子力発電(株)
(株)アルバック	電気興業(株)	(株)日本製鋼所
アルバック・クライオ(株)	電源開発(株)	日本電気(株)
イビデン(株)	(財)電力中央研究所 原子力技術研究所	浜松ホトニクス(株)
英文校正エナゴ (クリムゾンインタラクティブ)	東京電力(株)	(株)日立製作所
(株)大阪真空機器製作所	(株)東芝	日立電線(株)
鹿島建設(株)	東芝電子管デバイス(株)	(株)日立プラントテクノロジー
関西電力(株)	東邦ガス(株)	(株)ブイテックス
キャノンエネルギー(株)	東北電力(株)	富士通(株)
九州電力(株)	東洋炭素(株)	富士電機システムズ(株)
金属技研(株)	(株)トーエネック	古河 C&B(株)
(株)クリハラント	特許庁	北陸電力(株)
(財)高度情報科学技術研究機構	(株)豊田中央研究所	北海道電力(株)
四国電力(株)	ニチコン(株)東日本営業本部名古屋支店	三菱重工業(株)
昭和電線ケーブルシステム(株)	(株)日刊工業広告社	三菱電機(株)
新むつ小川原(株)	日本アドバンステクノロジー(株)	(株)三菱東京 UFJ 銀行
(株)神菱ハイテック	日本エクス・クロン(株)	(株)明電舎
住友電気工業(株)		リンナイ(株)

乱丁・落丁本は、ご面倒ですが学会50周年記念委員会宛ご送付ください。送料当方負担にてお取り替えいたします。

プラズマ・核融合学会誌第84巻増刊

編集・発行

〒464-0075 名古屋市千種区内山3丁目1-1 4階

社団法人 プラズマ・核融合学会 50周年記念委員会

Tel. 052-735-3185 Fax. 052-735-3485

E-mail: plasma@jspf.or.jp URL: <http://www.jspf.or.jp/> 定価2,100円(本体2,000円)

印刷 株式会社荒川印刷

2008年(平成20年)10月25日

本誌に掲載された寄稿等の著作権は(社)プラズマ・核融合学会が所有しています。

【複写をされる方に】本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写してください。ただし、日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です)権利委託先: 学術著作権協会 Tel: 03-3475-5618 E-mail: info@jaacc.jp
なお、著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていないので、直接発行団体へご連絡ください。
また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡してください。

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC) (222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA Tel 1-978-750-8400; Fax 1-978-646-8600)



Vol.1-7

1958年
核融合懇談会発足



Vol.8-46

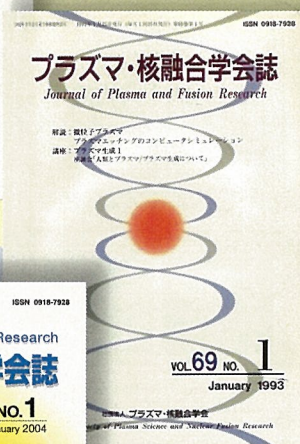


Vol.47-50

1983年
プラズマ・核融合学会発足

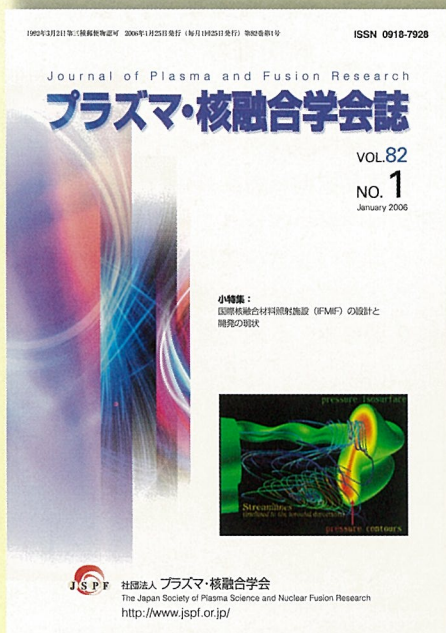


Vol.51-68

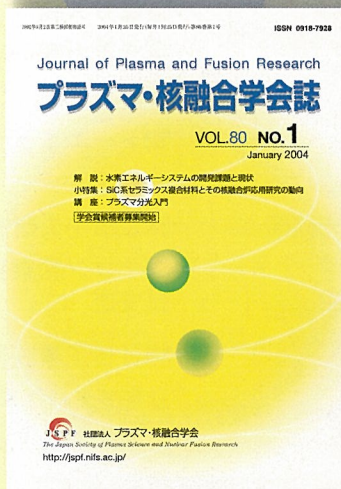


Vol.69-79

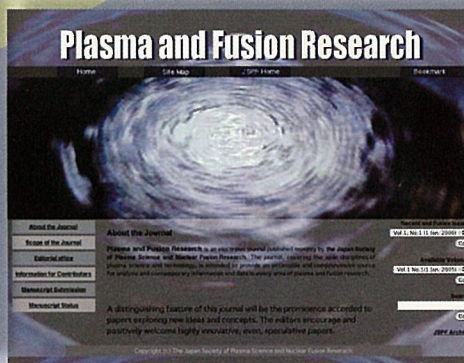
2008年
核融合 50 周年



Vol.82-



Vol.80-81



2006 年英文電子ジャーナル PFR 創刊