



サロン

座談会：原型炉時代の産業界と若手をつなぐ交流の懸け橋

出席者：近藤正聡* (東京工業大学・司会)，河辺賢一 (東京工業大学)，大石啓嗣 (東京大学)，
小林大地 (日本大学)，宗近洸洋 (東京工業大学)，河野奈菜子 (お茶の水女子大学)，
鴻上貴之 (三菱重工業株)，水谷拓海 (東芝エネルギーシステムズ株)，
野元一宏 (三菱電機株)，木戸修一 (株日立製作所)

日時：2019年2月21日 15:00-17:00，
場所：東京工業大学大岡山キャンパス (東京都目黒区)

会で議論した内容として，“エネルギー総選挙”と“若手のキャリアパス”について中心に報告する。

1. はじめに

核融合エネルギーフォーラム (以下、フォーラム) の社会連携・企画クラスターと実用化戦略クラスターは、ITER・BA 成果報告会に合わせて「産業界と若者の意見交換会 (以下、意見交換会)」を実施してきた。この意見交換会は、学生が核融合開発に関係する企業の展示ブースを訪れ、最先端のモノづくりやそのやりがいなどに関するインタビューを通じて交流を図るというものである (図1)。全国の大学から30名程度の学生が毎年参加する。意見交換会に参加した学生からは、「これほど多くの企業が核融合開発に携わっているとは思わなかった」、「核融合に関連する技術が、核融合以外の様々な分野で応用されていることに驚いた」などの感想が寄せられている。詳しい内容については、フォーラムのWEBサイトをご覧ください [1]。この意見交換会では、様々な企業の活躍を知ることができる一方で、時間が限られているため十分な交流を行うのが難しいという課題もあった。そこで、意見交換会のスピノフ企画として、2019年2月21日に有志による座談会を東京工業大学大岡山キャンパスにて開催した。本稿では座談

2. 座談会の参加者について

2018年の意見交換会終了時に、この座談会についてアナウンスをしたところ、3名の大学院生が参加を申し出てくれた。また、これから原子力や核融合のことを勉強したいと考えている学部生にも声をかけたところ1名が参加してくれた。企業からの参加者として、国際熱核融合実験炉ITERをはじめ、JT-60SA、大型ヘリカル装置LHD等の様々な核融合およびプラズマ装置を開発してきた重電メーカーから4名の方に参加いただいた。電源としての核融合炉に関して議論を深めるために、電力系統工学を専門とする河辺賢一博士にも参加してもらった。司会を担当した近藤も含め合計10名の参加者の所属や経歴、専門等については末尾の参加者紹介をご覧ください。

3. 座談会前半：エネルギー総選挙について

司会による座談会の趣旨説明に続き、参加者の自己紹介が行われた。その後、参加者同士の懇親を図る目的で、“エネルギー総選挙”という企画を実施した。(1)再生可能エネルギー、(2)原子力発電 (核分裂)、(3)火力発電、(4)核融合炉発電を対象として、将来のエネルギー源としての有効性を、選挙という形式に則り参加者全員で考えるものである。ランダムに指定された発電方法に対して、学生が推進する立場で短時間のスピーチを行う。その後、参加者とのディスカッションを通じて、将来のエネルギー源として妥当か否かを投票により評価した。学生には、エネルギー基本計画等の参考資料を手渡し、5分程度でスピーチを準備してもらった。

将来のエネルギー源を議論する上で、電力システム運用上の様々な制約を考慮しなければならない。この点について、河辺博士による事前レクチャーを実施した (図2)。電力システムとは、発電所、送電線、変電所、配電線及び負荷が一体的に結合され、電力の生産から流通、消費までを行うものを指すが、この目的は停電が少なく、電圧・周波数が適正範囲に維持された電力を需要家に届けることである。電力システムの運用上の制約として、(i)システム大

* 責任著者 (連絡先 kondo.masatoshi@lane.iir.titech.ac.jp)



図1 2018年12月14日に実施した産業界と若手の意見交換会の様子。



図2 座談会の中で電力システムについて説明する河辺博士。

での周波数制約, (ii)送配電設備の熱容量制約, (iii)送配電設備の電圧制約, (iv)同期発電機群の安定度制約, (v)N-1信頼度基準(単一の設備故障(発電機1台の停止など)が起きても, 停電に至らないこと), の5項目に関する説明があった。日本の電源構成や1日における電源運用の様子が紹介された。変動する電力需要に合わせて電力を安定的に供給するためには, ピーク・ミドル・ベース負荷電源に分類される様々な電源(図3)を組み合わせて, 電源に多様性をもたせることが重要であるという説明もされた。

近年, 日本では太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギーの導入が進んでいるが, 再生可能エネルギーの大量導入に際して, 発電電力の変動によって需要と供給のバランス維持が困難になる可能性がある。そうした場合, 発生した余剰電力を相殺するために火力発電の稼働率を下げなければならなくなり, 採算性が厳しくなるという課題

| | ベース負荷電源 | ミドル負荷電源 | ピーク負荷電源 |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|
| 代表的電源 | 原子力 石炭火力 流込式水力 | LNG火力 | 石油火力 揚水式水力 |
| コスト | 小 | ← 燃料費 → | 大 |
| 設備利用率 | 大 | ← 建設費・維持費 → | 小 |
| 設備の規模 | 大 | | 小 |
| 要求される 運転の柔軟性 | 小 ● 頻繁な起動停止をしない ● 一定出力運転が基本 | ● 起動停止が可能 ● 需要変化に追従 | ● 起動停止が可能 ● 需要変化に追従 |

図3 ベース・ミドル・ピーク負荷電源の特徴。

も発生する可能性がある。また, 落雷や地震などによる系統事故時には, 大幅な電圧変動や周波数変動によって再生可能エネルギー電源が停止し, 電圧や周波数の不安定現象を助長する可能性がある。新しいエネルギーを開発していく上では, 高速な出力調整が可能, 高速な起動・停止が可能, 事故(落雷・地震)によって停止しづらい, といった特性を持つことが望ましいという説明がなされた。一方で, 核融合炉にそうした特性をもたせることが難しくければ, 蓄エネルギー技術を利用することも選択肢の一つであるというコメントも寄せられた。

このレクチャーの後, エネルギー総選挙が行われた。表1に学生によるスピーチの内容とディスカッションの概要を示す。これは, 座談会の内容の一部を示すものであり, それぞれの発電方法を客観的に比較し評価するものではないことを付け加えておく。9名の参加者のうち, ○札(将来の電源として適しているという評価)を挙げた人の数と, ×札(将来の電源としては適していないという評価)を挙げた人の主な意見を付記した。4名の学生の発表と議論に共通して, それぞれの発電方法について, 資源, 環境負荷, 実績, 実現性など, 様々な方向からバランス良く考えていることが伺えた。一方で, 経済性に関しては, あまり説明がなされなかった。

再生可能エネルギーに関しては, CO₂排出量が小さいことや, 原子力のような事故のリスクが小さい点等が長所として紹介された。特定の地域に電力供給のための負担をかけてしまう集中型のエネルギーシステムだけでなく, 自分たちで創り出したエネルギーを自分たちで管理するような意識改革も必要であるという意見も出された。課題は安定供給にあり, 蓄電技術の開発が重要であるという議論が行われた。

火力発電については, 石油・石炭・LNGと原料に応じて, ピーク・ミドル・ベース負荷電源として使いわけることができるため(図3), エネルギー源の多様性を維持する上でも魅力的であるという説明があった。50年先を考えた場合に, 可採年数が課題ではあるが, シェールオイル・ガスなどが見つかっていて, なくなる心配があまりないというのが実感である。新しいエネルギーを模索することに加え, 環境負荷を減らすという意味でも省エネを進めることが大切であるという意見も出された。

原子力発電については, CO₂排出量が少ない, ベースロード電源として電力の安定供給が可能であるという特徴

表1 エネルギー総選挙の結果。

| | スピーチと討論の内容から抽出したエネルギー源の長所と課題 | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|-----|-----|-----|-------|----------------|
| | 資源 | 環境負荷 | 経済性 | 多様性 | 実現性 | 得票数 | 課題 |
| 学生A《50年先》の再生可能エネルギー | ○ | ○ | △ | × | ○ | 7人/9人 | 安定供給管理の難しさ |
| 学生B《50年先》の火力発電 | △ | × | - | ○ | ○ | 8人/9人 | 資源の偏り 価格の変動 |
| 学生C《50年先》の原子力発電(核分裂) | ○ | ○ | △ | × | ○ | 6人/9人 | 安全性向上 |
| 学生D《100年先》の核融合発電 | ○ | ○ | - | × | △ | 8人/9人 | 未だ見通しが 乏しい点 |

に加え、十分な実績もある。燃料のリサイクルによりウラン資源の課題も解決できる。安全性の向上に関しても様々な研究が行われている。しかし、廃棄物の課題がある。国民の信頼を得るために積極的な情報公開を続ける必要があるという説明がなされた。

インドや中国などを中心に今後の世界的なエネルギー需要の増加を考えると、100年単位の長期的な展望で新しいベースロード電源を開発することが必要となる。核融合炉は海水から燃料を得られる革新的なベースロード電源になりうる。電力供給における安定性については、プラズマディスラプションによる緊急停止のような不確定要素が多いため、再生可能エネルギーと同様に蓄電技術を開発する必要があると意見があった。

それぞれのエネルギー源に関して、得票数に差があまりなかった点は、電源の多様性が大切であるという共通認識によるものであると思われる。火力発電と核融合発電という大きく異なる2つの方式の得票数が高かった点は、火力発電の実績が信頼を得ている一方で、核融合炉のような大きな技術革新にも大きな期待を寄せていることを表していると思われる。

4. 座談会後半：原型炉時代における若手研究者・技術者のキャリアパスについて

国内の原型炉開発に関しては、原型炉設計合同特別チームが2015年に発足し、総勢50名程度で活動を実施している[2]。文部科学省核融合科学技術委員会原型炉開発総合戦略タスクフォースによりアクションプランやロードマップ[3]が策定され、2035年以降の原型炉建設にむけて様々な活動が進められている。こうした長期のプロジェクトでは、人材の育成や技術の継承が重要である。そこで、若手も強い関心を寄せるキャリアパスについて座談会の後半で話し合った。

図4は、ITERや原型炉設計の進展に沿った形で考えた若手のキャリアパスの1例を纏めたものである。今、大学院に在学している世代は、会社に入って間もなくするとITERが運転を開始するようになる。建設に貢献するという時期ではないかもしれないが、ITERの運転・維持のノウハウを蓄積できる貴重なチャンスである。更に、前述の

ように原型炉設計においても活躍の場は多い。そのため、原型炉運転期には、以上のようなキャリアを経て主たる戦力となると期待される。

一方で、ITERが完成してから、原型炉の建設が開始されるまでの間の15年から20年ほどの期間は核融合炉をつくらぬ期間があるようにも見える。この点に関して、「核融合炉に関連する技術開発は幅広く、様々な部署で経験を積むことも可能であり、自分の希望を強く持ち続けながらも様々なモノづくりの経験を重ねていくことが重要である」、「既設置の保守や次期装置のためのR&Dなどを通じて、途切れることなく仕事を続け、核融合炉開発を進めるコアとなるメンバーを育成したい」、「世界的に見ても核融合炉が必要とされていることは明らかであり、高い技術力を誇る日本の企業は世界を牽引し、核融合炉の公益性を形にしていくという義務があり、そうしたモノづくりに挑戦したいという若手に期待する」というアドバイスが産業界から学生に寄せられたことが印象的だった。

5. 結びとして

ITER建設が進む一方で、国内の原型炉設計活動も活発化している。こうした中で、産業界と若手の有志が集まり座談会を開催した。大学の研究室で実施している基礎研究と、産業界の実施するプロジェクトとしてのモノづくりの間には大きな溝があるものの、座談会のような形で机を囲み話してみると、学生も教員も企業も核融合発電に大きなロマンを感じているという共通点を改めて感じた。立場は違えども「核融合炉を導入することにより電源の多様性を豊かにしたい」という思いや、「電源としての核融合炉を一歩も早く自分たちで実現したい」という思いが重なる座談会となった。今後も継続して開催していきたい。

謝辞

本座談会は、核融合エネルギーフォーラムの実用化戦略クラスター及び社会連携・企画クラスターの活動として実施された。

本座談会を開催するにあたり、企画や調整の段階から、東京大学名誉教授の小川雄一先生に様々なアドバイスを頂戴した。ここに深く感謝する。また、核融合エネルギーフォーラム事務局や関係者の皆様にも深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 核融合エネルギーフォーラム
<http://www.fusion.qst.go.jp/fusion-energy-forum/> (サイト内で、「意見交換会」で検索)
- [2] 原型炉設計特別チーム
<http://www.fusion.qst.go.jp/rokkasyo/project/reactor-sp.html>
- [3] 原型炉研究開発ロードマップ (一次まとめ)
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/074/houkoku/1408259.html

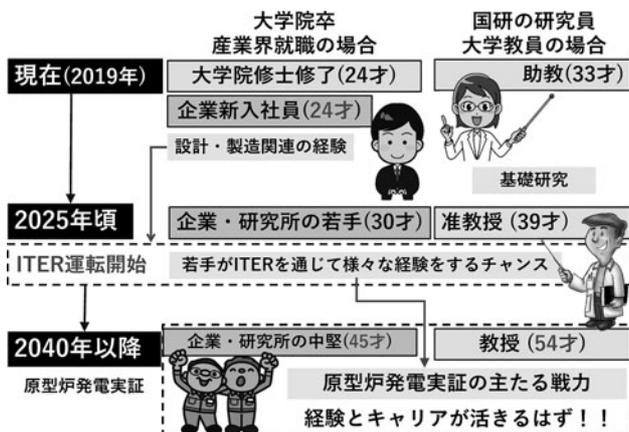


図4 ITERと原型炉設計を背景とした若手のキャリアパス。



図5 座談会出席者の集合写真。

座談会出席者の紹介（順不同・写真の並び順）

(a) 野元一宏

三菱電機㈱電力システム製作所原子力部。
入社以来核融合実験用を中心とした超伝導マグネットの設計に従事。核融合実現を目の当たりにできるよう健康管理を心がけています。

(b) 河辺賢一

2012年3月東京大学電気系工学専攻博士課程修了。富山大学大学院理工学研究部客員助教。2016年東京工業大学工学院電気電子系助教。現在に至る。主として、電力システムの解析・制御に関する研究に従事。博士（工学）。

(c) 大石啓嗣

東京大学大学院生。専門はブランケット工学です。趣味は将棋とテニス。座右の銘は「何があっても天狗にだけはなってはならない」です。

(d) 宗近洸洋

東京工業大学大学院生。夏からのITERインターンシップのためにいろいろ準備中。英語とフランス語の勉強を頑張っています。

(e) 小林大地

日本大学大学院理工学研究科プラズマ理工学研究室、学生。核融合分野の研究者をめざして頑張っています。夏に予定している米国への長期研究留学に向けて準備を進めています。

(f) 河野奈菜子

お茶の水女子大学理学部化学科3年。現在の専門はやや異なりますが、原子力や核融合の分野に興味があり、本座談会に参加しました。自分の将来を考える良い機会になりました。

(g) 木戸修一

1996年3月東京大学システム量子工学専攻博士課程修了。㈱日立製作所 核融合・加速器部長。博士（工学）。核融合技術者に企業へのキャリアパスの存在を認識してもらえるよう、策を思案中です。

(h) 水谷拓海

東芝エネルギーシステムズ㈱パワーシステム事業部 原子力先端システム設計部。2013年よりITER TFコイルの製作に従事。核融合の世界に入るきっかけとなったITER計画が成功裏に進むよう、モノづくりでの貢献を日々考えています。

(i) 鴻上貴之

三菱重工業㈱パワードメイン 原子力事業部 新型炉・原燃サイクル技術部 新型炉プラント設計課 設計職。2015年の入社から現在に至るまで、ITERを中心とした核融合関連機器の設計に従事。

(j) 近藤正聡

東京工業大学科学技術創成研究院先端原子力研究所准教授。原子炉の冷媒である液体金属に関する研究に従事。フォーラムでは、産業界と若者の意見交換会などの運営補助を担当。