

第9回 水素エネルギー変換化学研究ユニット 光島重徳 教授

## 水素に託すエネルギーの未来

### 衆知を集めて独創に挑む

2022年2月24日、ロシアがウクライナに侵攻した。この戦争は年を跨いで激烈さを増し、今もなお終局の様相を見せない。欧米諸国は侵略されたウクライナを支援し、ロシアは石油や天然ガスの供給制限で対抗している。エネルギーを巡る国際情勢は急速に悪化し、日本でもガソリン価格を抑制する政策が導入された。

私たちは、一体いつまで化石燃料を頼れるのだろうか。地球温暖化への対処も待ったなしだ。もちろん、埋蔵量に限りがあることは今更いうまでもない。

長期的に見てエネルギーは不足する。だとすれば、私たちは今、何をすればよいのか。

「イノベーションで解決する」

口で言うのは簡単だが、いったい何をすればよいのか。

そのヒントが、光島の研究にある。



(中川撮影)

横浜国立大学

先端科学高等研究院 教授

水素エネルギー変換化学研究ユニット 主任研究者

先進化学エネルギー研究センター グリーン水素研究ラボ ラボ長

大学院工学研究院 機能の創生部門 教授

## 1. 日立研究所では研究スタイルを確立した

1988年1月、光島重徳は、とある研究報告会の懇親会で、一人の男に声をかけられた。知らない男だった。男は会釈して、名刺を差し出した。

「太田先生のところの学生さん？ 2年生、3年生？ 学位取ったらどうするの？」

名刺には「株式会社日立製作所 日立研究所 主任研究員」の肩書きがあった。

「日立<sup>1</sup>に入社して、燃料電池をやりませんか」

燃料電池は水の電気分解の逆の反応で、水素と酸素を反応させて、電流としてエネルギーを取り出すシステムだ。副産物として水が発生する。光島は工業電解と燃料電池の研究室で電気化学を専攻し、600-700℃で稼働する産業用の燃料電池、熔融炭酸塩型燃料電池(MCFC)の特性<sup>[1]</sup>について、何回も学会発表していた。

このとき、光島は大学院博士課程の2年や3年ではなく、修士課程の1年生。ようやく研究の面白さがわかってきたところだった。

「今は、修士課程の1年で、研究には魅力があるが、修士修了後は就職したいと思っている」

正直に伝えると、相手の男は目を見開いた。

「えっ。修士課程ですか。学会発表もたくさんされているので、てっきり博士課程の院生かと思いましたよ。でもオーケーです。日立で燃料電池の研究を続けませんか。学位を取ることもできると思いますよ。日立研究所では、みな、当然のように博士の学位をとっていますから」

そして、ひと言つけ加えた。

「そもそも、日立研究所では、部長級以上は全員博士なんですよ」

光島は即答しなかった。日本がバブル経済の急坂を、全力で駆け上がっていた頃である。就職は売り手市場だったし、修士課程の修了までまだ1年以上もある。あせることはない。

放っておいたら、4月になって電話がかかってきた。

「1月に懇親会でお会いした日立研究所の者ですけど、今はM2(修士課程2年)ですよ。改めて伺いますが、弊社に来ていただけませんかでしょうか」

光島は再び保留した。日立では研究ができる。しかし、日立でなくても研究はできる。化学を専攻する大学院生の就職先として、電機メーカーがベストの選択なのかどうか。

---

<sup>1</sup> 以後、「株式会社日立製作所」は日立と略す。

5月頃に三度目の勧誘があった。

「お待ちしているのですが、そろそろ決めていただかないと、採用枠が埋まってしまいます」

いつまでも言葉を濁し続けるわけにはいかない。修士課程の修了まで1年を切っている。日立だって採用を決めたいだろうし、自分も進路を決めなければならない。さて、どうする。

背中を押したのは、指導教授の太田健一郎教授だった。

「光島君。修士の院生に対して、研究内容まで決めてスカウトがあるなんて、滅多にないチャンスだよ」

この一言が迷いを消した。光島は学校推薦の応募書類を日立に送付した。

1989年4月、光島は日立に入社した。配属は予定どおり茨城県の日立研究所だ。「いっしょに研究をしませんか」と誘った主任研究員は異動で転出していたが、光島は希望どおり、MCFCの研究ができることになった。大学院では、ニッケル酸化物などMCFCの電極材料の溶解度についての解析が研究の中心だった。日立研究所では、MCFCの高性能化や劣化の要因についてモデルを作成し、実験と数値解析によってMCFC長寿命化の方法を探索した。光島はこの研究を通じて、「現象を数式で表現し、数式によって現象を理解する」とい研究スタイルを身につけた。

ところで、日立研究所の研究は将来のビジネスを見据えた「ものづくり」のための研究開発である。研究費は企業の収益から割り当てられ、金額は企業の収益に左右される。他に、通産省の「ニューサンシャイン計画<sup>2</sup>」も重要な財源となっていた。ニューサンシャイン計画は、国の税金を基にしたプロジェクトで、大学や企業が協働して、将来の産業につながる研究を行う。光島の研究もNEDO<sup>3</sup>の受託研究だった。

この間、学会発表、論文発表はもちろんのこと、特許出願にも精力的に取り組み、日立在籍中の1989年から1999年の間に18件の特許を出願している[2]。特許は企業が研究成果をビジネスにするために重要な権利だ。

光島が燃料電池に没頭していた頃、研究所の外では、バブル経済がピークを迎え、そのあと崩壊した。日本企業の業績は暗転した。日立も例外ではなく、1991年3月に

---

<sup>2</sup> ニューサンシャイン計画:(エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画):通産省工業技術院のプロジェクトで、持続的成長とエネルギー、環境問題の同時解決を目指した革新的技術開発を重点的に推進することとした[4]

<sup>3</sup> NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構):経済産業省の所管でエネルギー・地球環境問題の解決と産業技術力の強化をミッションとする。提案公募事業はその事業の一つ

5兆円を超えていた営業損益は急落し、1995年3月には2兆1千億円程度、ほぼ4割にまで減少していた[3]。

多くの企業が「選択と集中」の戦略を取ろうとする中で、日立の燃料電池研究は、火力発電代替のMCFCから小型の固体高分子形燃料電池(PEFC)や直接型メタノール燃料電池に舵を切ろうとしていた。

そして、ついに日立は決断した。

「MCFCのニューサンシャイン計画から撤退する」

これを告げられた時、光島は何を思っただろう。思案の末、「早晚、日立は燃料電池から撤退する、少なくともMCFCは止めるだろう」と判断した。燃料電池の研究がなくなれば、自分の居場所はどこにあるのだろう。「研究戦略は企業戦略に従うべきだ」。企業研究者だから、わかっている。わかっているだけに、やるせなかった。

「それでも、燃料電池の研究を続けたい」

光島は上司と、生き残るための研究計画を提案した。固体高分子形燃料電池(PEFC)の研究計画である。プロトン(水素イオン:H<sup>+</sup>)が内部を移動し、MCFCより低温の80-120°Cで動かせる実用上のメリットがある。ビジネスの視点で見ると製造コストを下げることができる。もし、この計画が受け入れられれば、燃料電池の研究は続けられる。しかし、研究計画を実行するためには、越えなければならない高いハードルがあった。研究費を負担し、成功したときに事業化を引き受け、失敗したときに損失を負担してくれる事業部を見つけ、承認を得なければならなかった。事業部長が集まって審議する会議に出た。

光島が会議室に入ったとき、事業部長たちはすでに着席していた。光島の上司は、わかりやすい言葉で丁寧に話した。自分の席から、そっと事業部長たちの反応を窺うと、聞いているのかいないのか、目を落としてじっと資料を見ていた。会議は粛々と進み、淡々と終わった。光島は肩を落として会議室を出た。1990年代は、原油価格も1バレル10-30ドルという安値で安定し、世の中に代替エネルギー開発の気運は起こらなかったのである。

1999年3月、日立の営業損益は340億円の赤字を記録した[3]。このときまでに、光島は博士の学位を取得していたし、研究業績も申し分なかった。「転職」という言葉が頭をよぎった。転職先にこれといった当てはなく、指導教員だった太田教授に相談した。ただ、燃料電池の研究ができるなら、どこでもよかった。2000年5月、光島は日立を退職し、横浜国大に移った。

新しいミレニアムにふさわしい新しい挑戦が、幕を開けようとしていた。

## 2. 横浜国大では人と企業を集めて独創研究に挑んだ

横浜国大に移って最初の研究は、太田教授の研究室での PEFC の研究だった。軽く触れておいてように、PEFC はプロトンが電気を運ぶ「プロトン伝導」だ。ここで混同を避けるために補足しておく、「プロトン」は物理に親しんでいる人には「陽子」だが、電気化学では「水素イオン」だ。

「プロトン伝導は面白そうだ。もっと深く研究してみよう」

自分でも応募できるプロジェクトを探すと、NEDO の提案公募事業に中温無加湿条件での燃料電池のプロジェクトがあった。若手研究者が対象だ。一緒に研究してくれる仲間が欲しい。

光島は、すぐさま渡邊正義教授にコンタクトを取った。

「NEDO の提案公募事業にプロトン伝導液体の研究を提案しようと思います。助手の先生と一緒に提案したいのですが、よろしいでしょうか」

「うん、いいよ」

これが採用から一週間の出来事だから、速攻というか活動的というか、光島は今、振り返って「我ながら生意気なやつだったよな」と苦笑する。

このころ石油価格が変動を始めた。イラク戦争で上昇し、シェールオイルの採掘で下落した石油価格は、産油国と消費国の駆け引きも絡んで不安定になった。

おりしも、2005 年には温室効果ガス排出の削減を義務付けた京都議定書が発効し、締約国は 1990 年基準 5.2%の CO<sub>2</sub> 排出削減を義務付けられた[5]。2006 年には地球温暖化を警告するアル・ゴア元副大統領主演の映画「不都合な真実」が公開された。化石燃料と CO<sub>2</sub> 排出量の削減は、もはや避けることのできない義務となっていた。

燃料電池は水素と酸素(空気)を投入して電気エネルギーと水を産出するから、CO<sub>2</sub> を排出しない。多くの大学では工業化学の研究室は工業電解をやめて、燃料電池の研究を始めた。

この点で光島は先んじていたが、同時に疑問も持っていた。水素は、ふつうは化石燃料から作るが、この時に CO<sub>2</sub> を排出すれば、直接燃やすのと変わりが無い。これでは、同じではないか。光島は「燃料電池に投入する水素を作るときに CO<sub>2</sub> を出さないこと」を新たな目標にした。実現のために、事務局を務めていた電気化学会の委員会にて、太陽光発電による水電解、つまり水の電気分解で水素を作る研究会を企画、

運営した。ある日、デノラ・ペルメレック<sup>4</sup>というイタリア系の電気化学メーカーから声がかかった。

「光島先生のご研究には、私たちも関心があります。どうでしょう、水電解の共同研究をしませんか」

強力なエンジンを得て、光島は水電解の研究を本格的に開始した。

2011年、東日本大震災が起こった。原発の事故や石油による火災の映像が流れ、計画停電を経験すると、再生可能エネルギーへの期待が湧き上がった。

同じころ、エネオス<sup>5</sup>からも話があった。

「トルエン電解水素化の共同研究をしませんか」

「素晴らしい！ やりましょう」

トルエンは常温常圧で液体の、ガソリンに含まれる炭化水素だ。簡単に水素とくっついてメチルシクロヘキサン(MCH)になる。MCHもガソリンの成分で、簡単に水素を放出してトルエンに戻る。この反応を利用すると、水素は常温常圧で1/500の体積の液体にできる。太陽光発電による水電解は、ふつうはオーストラリアなど日光の強い乾燥地で行う。水電界で作った水素(気体)からMCH(液体)を作って日本に運ぶと輸送効率が良い。日本で水素を取り出したあと、トルエンをオーストラリアに戻せばリユースできる。貯蔵タンクや輸送船などのインフラには、石油のものを転用できる。

トルエン電解水素化は、水電解と、トルエンと水素からMCHを作る反応を直結した新しいテクノロジーだ。トルエンと水に再生可能エネルギーで得た電気を流して、気体の水素を作らないで、直接MCHを作る。

光島はエネオスとともに動いた。2014年から2018年まではエネオスに加えて水電解で共同研究していたデノラ・ペルメレック、旭化成など数社とALCA<sup>6</sup>やSIP<sup>7</sup>のプロジェクト「エネルギーキャリア」で研究し、2017年から2018年の1年間はNEDO「エネルギー・環境新技術先導プログラム」で開発した。この成果はエネオスを中心に継承され、2019年にオーストラリアで技術検証に成功した[6]。ベースには光島が複数の企業の技術を組み合わせた電解槽の、日本独自、世界初の技術がある。

そもそも欧米は、気体のエネルギーを液化するという発想に乏しかった。豊富な天

---

<sup>4</sup> デノラ・ペルメレック:旧社名はペルメレック電極;本稿では2022年時点での社名で表記を統一した。

<sup>5</sup> エネオス:日本の石油化学企業 旧社名にJXTGエネルギーなど

<sup>6</sup> ALCA(先端的低炭素化技術開発):JSTの事業の一つで低炭素社会の実現に向けた技術シーズを創出する研究開発プログラム <https://www.jst.go.jp/alca/>

<sup>7</sup> SIP(戦略的イノベーション創造プログラム):内閣府の、科学技術イノベーション実現のための国家プロジェクト <https://www.jst.go.jp/sip/aboutSIP.htm>

然ガスのパイプラインが縦横にめぐらされているので、つい最近まで LNG すら眼中になかったぐらいだ。研究は、今のところ日本、すなわち光島の独壇場だ。

水電解についても、2018 年には NEDO の「水電解水素製造技術高度化のための基盤技術研究開発」でアカデミア中心のコンソーシアム体制の研究に発展し、論文発表は 2016-7 年の 2 年間で 3 本だったのが、2018 年には一気に 1 年で 5 本を発表し、その後も 2022 年まで毎年 2-6 本を発表している。特許は 2016-7 年の 2 年間で 2 件だったのが 2018 年には 3 件、さらにその後 2021 年までに毎年 1-7 件を出願している。

水電解にせよトルエン電解水素化にせよ、光島の研究は企業からの提案から始まり、企業などとの共同研究と NEDO や JST のプロジェクトで発展してきた。

「どうして、たびたび企業から声がかかるのですか。それに、どうしてたくさんの企業が集まるのですか」

この質問に、光島は少し考えてから、口を開いた。

「他に、水電解をしている研究者がいなかったからじゃないかな。工業電解は、みんな、やめちゃったからね」

たしかにそうだろう。石油価格が安定していたころに、研究者も研究プロジェクトも消えてしまった。でも、それだけだろうか。光島の研究スタイルが企業研究者から見て、受けいれやすいものだったからではないだろうか。

「ぼくの研究スタイルが確立したのは日立にいたときだ。そこで身に付けたのが、純粋な化学にこだわらない、エンジニアリングの要素を併せ持った研究だ。一つのことにとこだわらず、たとえば機械のことなんかも理解して、お互いに知識のやり取りをして進めていく。こういうスタイルだ」

企業は社会の動向や政策に適応しようとする。企業研究者は、ときに経営に翻弄されながらも、なんとか順応して研究を続けようとする。実用性を重視し、アカデミック志向よりはエンジニアリング志向なのも企業研究者の性向だ。企業研究者の目線を持った光島のような大学研究者は、企業から見て声をかけやすく、共同研究を進めやすかったのではないか。

光島は、横浜国大に移った 2000 年から 2021 年までに 36 件の特許を出願しているが、そのうち 28 件を 10 社 2 大学と共同で出願している[2]。さらに、秘密保持契約を結んだ企業などの機関は 50 を数えるという。

章のおわりになったが、ここで、図1に IAS での研究風景を示しておこう。

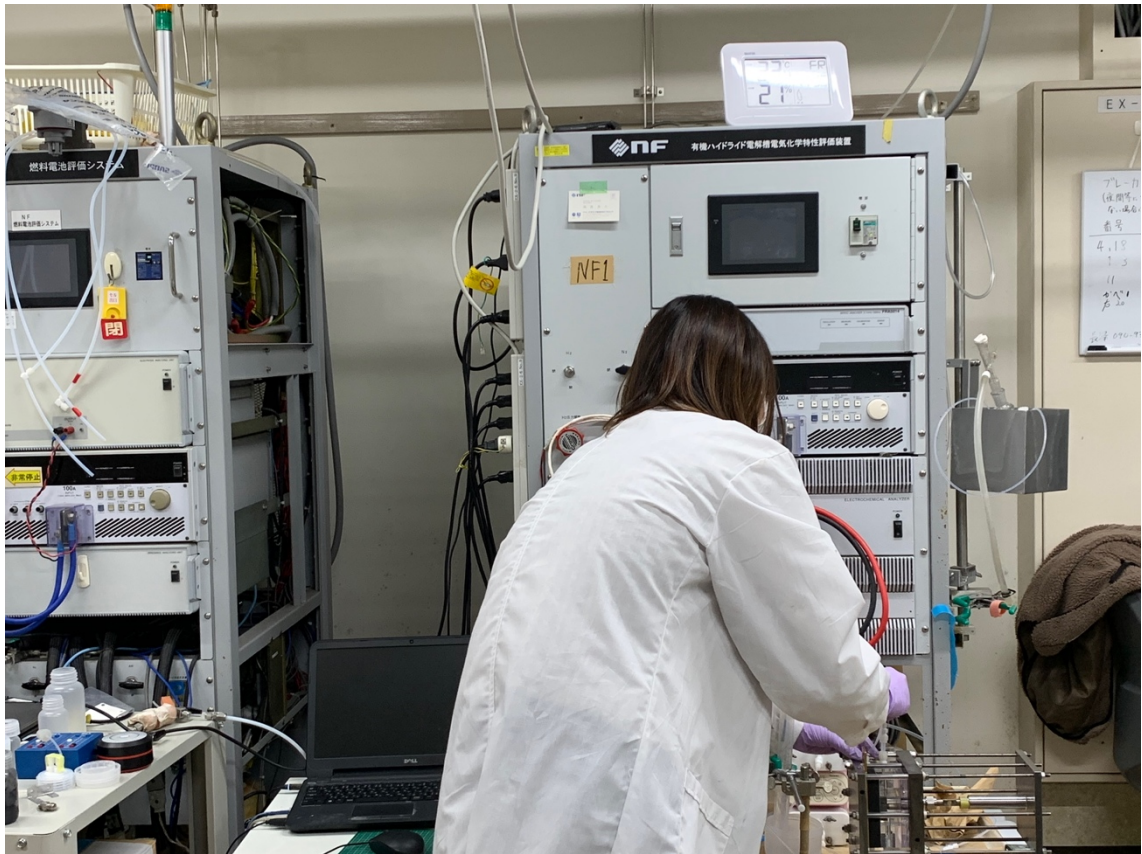


図 1. IAS での研究風景（中川撮影）

### 3. 未来のために、新しい道を拓こう

冒頭に書いたとおり、石油と天然ガスの不足と価格高騰は、現実の危機だ。この状況を受けて、ドイツは初めて LNG の基地を建設した[7]。

光島と共同研究者たちが成し遂げた研究成果は、これからどのように社会実装されるだろう。光島は、日本は、世界のトップに立って開発と普及の旗を振ることができるだろうか。それをやる力は持っているし、そうしてほしい。しかし、半導体や太陽電池のたどった運命を思い返すと、すぐには楽観的になれない。

光島は焦りを隠さない。

「オイルショックの時には政府にも国民にも危機感があった。今はそれが感じられない。繁華街に行けばネオンは輝いているし、ガソリン代が高騰すれば税金から補助が出る。茹でガエル政策に慣れて安心するのではなく、エネルギーは高価なもの、という事実を見据えてエネルギー問題に取り組まないといけない」

そして光島は嘆く。開発も普及もこれからなのに、エネルギーインフラを扱う企業の



多くは、高度成長期に染み付いた習性で、いまだに政府の政策を待っている。その一方で、政府のプロジェクトは「提案公募」で民間の提案を待っている。これでは、誰が戦略を立てて、誰が動くのか。

覚醒した欧米諸国が水素エネルギーに巨額の資金を投下しても、日本の優位性は保たれるだろうか。本シリーズ第 8 回「超省エネルギープロセッサ研究ユニット 吉川信行教授『超伝導コンピュータ、極限省エネルギーへの旅』」[8]では、巨額の資金を投じる米中に、研究力の差を詰められている現実と言及したが、同じことが起こらないと言い切る根拠はない。

「手を打つなら、今しかない」

光島は二つの構想を実行に移そうとしている。

第一は IAS「エネルギーシステムの安全研究ユニット」研究者との連携による安全性の担保、普及の促進だ。水電解は日本では一般的に1気圧で反応させている。発生する水素ガスが 10MPa(約 10 気圧)以上になると、高圧ガス保安法の規制対象となって、装置の設計と管理にコストがかかるからだ。それだと、できた水素は水分の混じった湿ったものになる。圧力を上げて、たとえば 20 気圧にすると、水分は 1/20 に抑えられ、利用しやすい。だから、海外では電解槽は 20-30 気圧で作られている。幸いにも本学には、本シリーズ第 4,5 回「エネルギーシステムの安全研究ユニット 三宅淳巳教授『安全工学からリスク共生学へ』」[9][10]で紹介したように水素インフラの安全性に詳しい研究者がいる。このような研究者は、心強いパートナーだ。

第二は、身近に水素がある未来社会のビジョンを早く打ち出すことだ。ビジョンがないから戦略ができない。戦略がないから行動できない。行動しないから茹でガエルになる。だったら、自分が企業と大学から人智を集めて新しいビジョンを作ろう。個別の産業界の利害に左右されないよう、議論はアカデミアが主導して民間が参加する形で進め、身近に水素がある社会をイメージして、見える形にして発信しよう。光島が水素エネルギー協会の会長をしている今ならイニシアチブを発揮しやすい。来年は「エネルギー業界 50 周年」だ。水素エネルギー協会の記念事業としてふさわしいものを作ろう。

今、私たちの目の前には二つの道が見えている。一つは歩きやすい道だ。半導体や太陽電池が通った下り坂で、断崖に通じている。もう一つは、険しい上り坂で、まだ道はない。遠くに見える山を目指して、藪を切り拓いて道を作らなければならない。光島は先んじて分け入り、頂上に旗を立てようとしている。後に続くものの目印となる旗

を。

その旗を見て、私たちに坂を登る勇気があれば、日本は再び歩き始める。

## 文 献

- [1]水素エネルギー協会(編) “水素エネルギーの事典” 朝倉書店(2019)
- [2] 特許情報プラットフォーム J-PlatPat <https://www.j-platpat.inpit.go.jp>
- [3] 株式会社日立製作所 有価証券報告書 (当該年)
- [4] 山崎邦彦 “ニューサンシャイン計画の概要” 応用物理 63 (8), 762-769 (1994)
- [5] 全国地球温暖化防止活動推進センターホームページ  
<https://www.jccca.org/cop/kyo01>
- [6] “JXTG エネルギー・千代田化工・東大など、「CO2 フリー水素」を低コストで製造する技術検証に成功” 日本経済新聞 2019/03/15.  
[https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP505173\\_V10C19A3000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP505173_V10C19A3000000/)
- [7] “ドイツ、初の LNG 基地完成 脱ロシア産ガス目指す” 日本経済新聞 2022/11/16.  
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCB161520W2A111C2000000/>
- [8] “「知の冒険シリーズ」第 8 回 超省エネルギープロセッサ研究ユニット 吉川信行教授『超伝導コンピュータ、極限省エネルギーへの旅』” 横浜国立大学先端科学高等研究院 2022/07/21. [https://ias.ynu.ac.jp/intadv/8\\_yoshikawa.pdf](https://ias.ynu.ac.jp/intadv/8_yoshikawa.pdf)
- [9] “「知の冒険シリーズ」第 4 回 エネルギーシステムの安全研究ユニット 三宅淳巳教授『安全工学からリスク共生学へ』(前編)” 横浜国立大学先端科学高等研究院 2021/07/21. [https://ias.ynu.ac.jp/intadv/4\\_miyake1.html](https://ias.ynu.ac.jp/intadv/4_miyake1.html)
- [10] “「知の冒険シリーズ」第 5 回 エネルギーシステムの安全研究ユニット 三宅淳巳 教授『安全工学からリスク共生学へ』(後編)” 横浜国立大学先端科学高等研究院 2021/07/21. [https://ias.ynu.ac.jp/intadv/5\\_miyake2.html](https://ias.ynu.ac.jp/intadv/5_miyake2.html)

(先端科学高等研究院 研究戦略企画マネージャー 中川正広)  
(初版 2023/03/29)