

# FSST NEWS

Forum of Superconductivity	No. 144
Science and Technology News	

発行  
 一般社団法人  
 未踏科学技術協会  
 平成 27 年 1 月 23 日発行  
 〒105-0003  
 東京都港区西新橋 1-5-10  
 新橋アマノビル 6 階  
 Tel : 03-3503-4681  
 Fax : 03-3597-0535  
 Email : fsst@sntt.or.jp

## <FSST NEWS No.144 目次>

### <年頭所感>

浸透はいかに 超伝導科学技術研究会会長/東京大学 下山 淳一 .....2

### <北澤宏一先生を偲んで>

思い出 — 北澤宏一先生 物質・材料研究機構、東海大学 太刀川 恭治 .....3  
 学長仲間 芝浦工業大学 学長 村上 雅人 .....3  
 北澤先生の思い出 物質・材料研究機構 室町 英治 .....4  
 北澤宏一先生の思い出 住友電気工業株式会社 佐藤 謙一 .....5  
 北澤宏一先生を偲んで 国際超伝導産業技術研究センター 田辺 圭一 .....6  
 北澤先生を偲んで 超伝導科学技術研究会会長/東京大学 下山 淳一 .....7  
 北澤宏一先生の心 未踏科学技術協会 理事長 木村 茂行 .....8

### <トピックス 1>

超伝導リニアの開発状況 東海旅客鉄道株式会社 池田 政隆 .....11

### <トピックス 2>

高温超伝導ケーブル実証プロジェクト ～冷却システムの成果と課題 (1) ～  
 株式会社前川製作所 仲村 直子 ..... 15

### <会議報告 1>

ISS2014 会議報告  
 (1) Physics and Chemistry 産業技術総合研究所 伊豫 彰 .....18  
 (2) Wire & Tapes, Large Scale System Applications 昭和電線ケーブルシステム 小泉 勉 .....19  
 (3) Films, Junctions and Electronic Devices 産業技術総合研究所 日高 睦夫 .....20

### <会議報告 2>

CCA2014 会議報告 国際超伝導産業技術研究センター 和泉 輝郎 .....21

### <研究室紹介>

(1) 京都大学 大学院エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻 白井研究室 .....23  
 (2) 京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 固体電子物性研究室 .....25  
 (3) 岡山大学 大学院自然科学研究科 産業創成工学専攻 金研究室 .....27  
 (4) 慶應義塾大学 大学院理工学科研究科 総合デザイン/工学専攻/理工学部 機械工学科機械力学研究室 .....28  
 ○第 2 回超伝導科学技術セミナー .....30  
 ○第 41 回シンポジウム .....31  
 ○研究会の動き .....31  
 ○国内超伝導関連会議/国際会議及び国外の主要な会議 .....32

## <年頭所感> 浸透はいかに How to be widely installed?

超伝導科学技術研究会会長  
東京大学大学院 工学系研究科  
下山 淳一

Faculty of Engineering, The University of Tokyo  
J. Shimoyama



新年、明けましておめでとうございます。皆様方には旧年中の当会へのご協力に対しまして厚く御礼申し上げます。本年も皆様方と一緒に超伝導科学技術の発展を促進する活動を行ってまいりますので、引き続きご協力、ご意見等を賜りますよう、よろしくお願ひします。

本会は昨年、第83回ワークショップ「多ピクセル超伝導検出器で探る材料、核物質、宇宙の謎」を3月10日、第40回シンポジウム「超伝導2014 - 未来を拓く超伝導ケーブル」を4月15日、第84回ワークショップ「新しい超伝導体のホットな話題、最新の理解」を7月22日に開催しました。第40回シンポジウムでは第18回超伝導科学技術賞の授与式も行いました。また、本誌FSSTニュースにつきましても140～143巻を発行しました。各巻末に紹介する超伝導関連の研究グループ紹介も延べ59件に達し、そのマップの内容もますます豊かになっています(<http://www.sntt.or.jp/~fsst/lab.html>)。このほか、一昨年から核融合原型炉に関する調査研究活動も継続して行い、その一環として年明け早々の1月8日に第85回ワークショップ「核融合発電実証に向けて - 核融合システムおよび超伝導技術の現状と将来展望 -」を開催しました。本年は2月20、21日に若手技術者・研究者対象の「第2回超伝導科学技術セミナー」、4月17日に第41回シンポジウム「超伝導2015 - 超伝導で走る -」を行う予定で、第17回日米先進超伝導ワークショップをはじめそれ以降の企画の準備も進めています。このように本年も第二期(2008年以降)の活動趣旨“超伝導産業を支える”に沿った諸活動を展開する予定です。

さて、近年はいろいろな事象、状態の振幅が大きくなっていることが確かなようです。例えば、異常気象で、筆者はこの40年近く気象に興味をもって情報を集めてきたこともあり、比較的冷静にこの問題に触れられるかと思ひます。ニュースなどでは日本各地の短時間雨量や日降水量、最高気温の記録更新などがしばしば取り上げられますが、観測点が増えたこと、レーダーの解析技術が進んだことなどの寄与が大きいことは否めません。それでも、深刻な災害や季節外れの異常現象の頻度は確実に増えてきています。これらが人間活動に由来するものか、地球自身の営みの変化なのか、ここで議論するつもりはありません。しかし、より緻密な観測システムの構築がより重要になっており、観測点増加によってデータ通信に与えられた周波数帯が混雑するなか、高温超伝導フィルタが利用され始めており、今後の急速な普及が期待されます。

一方、新興国や途上国では貧富の格差拡大だけでなく公害問題も現先進国の発展期よりも深刻になっていますが、それぞれの国内問題であるためあまり知られていません。昨年、

新興国の環境・エネルギーの会議に参加した際に、南アフリカの科学者から聞いたことは、環境破壊、公害の急速な深刻化に対して科学者が警鐘を鳴らしても聞き入れてくれる国の政治家がおらず、多くの国民は新聞、テレビから自身が住む地域以外の情報を得る習慣があまり無く、国全体の問題意識が極めて低い、ということでした。年々着々と進んでいる水質や土壌の汚染が結果的にほとんど放置されている国は南アだけでなく、いずれ多数の国で顕在化する問題と思われませんが、修復不能なレベルに至る地域が多くなるか、地球規模の問題に進展しないか心配です。

話は変わりますが、17年前の冬、昨年ノーベル賞が授与された中村修二先生(当時、日亜化学)をある学会誌の取材でインタビューする機会がありました。当時は、青色LEDが量産プロセスに入ったところで、話が非常に熱くなり、インタビューは3時間を超えました。そのなかで印象に残っているのは、「青色が加わってLED技術が広く応用できるレベルに達しながら、日本ではなかなか使ってもらえずもどかしい。むしろフランスなど海外のほうが信号機ライトのLED化を進めるなど積極的で、日本は既成技術に固執し過ぎているのではないか？」との言葉でした。その後、数年の潜伏期はありましたが、LEDの発光体は照明技術に革命をもたらし、今日では社会に広く浸透しています。もちろん、この間に性能向上と低価格化が達成されています。

使ってみれば既成技術以上の効果や機能がある、という点は超伝導技術も似ていますが、利点がわかりやすく社会に入り込めたLED発光体のような普及は容易ではありません。高度医療診断技術に貢献しているMRI、精密磁気計測に不可欠なSQUID、超大型国際プロジェクトの加速器や核融合や高速磁気浮上鉄道は、超伝導技術でしか実現できない特徴が利用者、開発者の要求とマッチしたのですが、そのほかの分野への超伝導技術の普及には、ほとんどの場合、既成技術との競合があり、利点が示されなければ先が見えません。現在、国内では超伝導技術を装置、システムにつなげる様々なプロジェクトが進行しており、この数年の間に続々と成果が挙がってくるのが予定されています。これらのプロジェクトおよび超伝導材料の性能向上の動向を的確に伝え、それらの効果や可能性をできるだけわかりやすく紹介、発信することも本会の使命であり、本年もこのために積極的な活動を展開する所存です。

最後に読者の皆様のますますのご繁栄を祈念し、年頭の挨拶を結ぶことにいたします。

## <北澤宏一先生を偲んで>

### 思い出 — 北澤宏一先生

Reminiscence for Prof. Kitazawa

物質・材料研究機構、東海大学  
太刀川恭治  
NIMS, Tokai Univ.  
K. Tachikawa

過日北澤宏一先生が急逝されたことは、我が国にとりかけがえのない方を失ったと残念でなりません。最近、ややお顔色が優れないと心配はしていましたが、先生は真面目で、思い遣りが深く、また、好奇心が強く物事を深く追及されるタイプでした。一途にお仕事に当たられたことがご健康に災いしたかなとも思います。ご研究の一方で、社会、経済にも深い関心を持たれて活動されました。超伝導分野でも、Supercom の刊行や当研究会における賞の設定など、広く啓発と活性化にも心を配られました。

私が先生に初めてお会いしたのは1986年6月頃で、添付の写真にある超伝導開発に関する座談会の司会をされた時でした。この際もどのように話を進めようか種々工夫をして来たと言われておりました。この種々工夫をされる点も先生の特徴の一つでした。それ以来、先生とよく気が合って、強い関係を持つようになります。続いての高温超伝導体発見の際の先生の貢献とご努力は良く知られている通りです。Y系超伝導体が見出された時も、報道される暫く前に米国からの国際電話を受け、早速北澤先生にお知らせしたものです。その後も米国での国際学会の折、先生と私で日本の超伝導に関するマスコミのインタビューに対応したこと、ご一緒に米国の研究所を訪問したことなど種々思い出されます。



写真 NIKKEI NEW MATERIALS, 1986年8月11日号  
82-96頁。

(左：私、中央：北澤先生、右：早川尚夫先生)

さて、当研究会は1987年末に、会長：斉藤進六先生、代表幹事：私、幹事：北澤先生らとしてスタートし、95年4月より私が会長を継ぎ、北澤先生に副会長をお願いし、98年4月より超伝導科学技術研究会に改名致しました。

従ってこの間、北澤先生には終始本研究会の運営を補佐して戴き、また、私は金属系線材が専門で、北澤先生はセラミックス系がご専門でしたので旨く補完し合っ

て研究会を運営出来ました。この様に北澤先生の当研究会に対する長年の御貢献はご多忙にも拘らず、多大のものがありました。1988年より発足した日米超伝導ワークショップでも日本で開く年にはその開催地について、いつも御尽力戴いたことが思い出されます。

私よりかなりお若いながら、常づね尊敬申し上げておりました北澤先生が、これからという時に亡くなられたことは悲しい極みです。ただ、ゆっくりお休み下さいと申し上げるのみです。合掌。

### 学長仲間

President versus president

芝浦工業大学  
村上雅人  
Shibaura Institute of Technology  
M. Murakami

一昨年の9月であった。秘書から「東京都市大学の北澤さんという方から電話が入っておりますが、おつなぎしてよろしいでしょうか」と言われ、一瞬、誰だろうと思った。そして、そうか北澤先生かと気付いた。電話に出ると、元気な声が聞こえてきた。

「今度、東京都市大学の学長になりました。学長としての先輩の村上さんに教えていただきたいことがたくさんあるので、ホットラインをつくりましょう」と切り出された。

超伝導研究で大変お世話になった方である。東大教授から科学技術振興機構理事長を務めあげて、東京都市大学の学長になられた大先輩に教えることなど何もないのと思ひながら、電話で一時間ほど話をした。

わたしからのアドバイスは「学長がはりきっても、改革の担い手は教員と職員なので、まず、彼らの意見に耳を傾け、そのうえで、多くのひとが納得できる前向きな施策を打ち出すのが得策である」という内容だったと記憶している。「また、教員は学長の言葉は受け流しても、学生のためなら頑張りますよ」と言ったことも覚えている。

それから、ほどなくして、大学の事務のひとりが私のところに相談に来た。「都市大の知り合いから『北澤学長が教員人事は全部自分が決めたい。芝浦工大はそうして成功している』と話しているが、本当にそうなのか」と聞かれたという。どう先方に答えましょうかという相談である。もちろん、そんな事実はないし、そんなことを言った覚えもない。

しかし、ふと思った。これは、北澤先生一流の作戦なのだろうと。大学は、まさに人で決まる。先生の人脈であれば、俊秀を連れてくるのも可能であろう。そこで「芝浦工大の規程上では、人事の最終責任者は学長にある」と返答するように話した。玉虫色の答えであるが、まちがいはない。

まもなく、都市大では次々と改革を打ち出しているという噂がいろいろなところから耳に入ってくるようになった。それまでは、ほとんど出したことのなかった競争的資金にも必ず応募するようにと指示があったらしい。そして、北澤学長は学生には評判がいいということも聞いた。もともと、若いひとが好きだったので、みずから積極的に交流を図っていたようだ。大学を制するいちばんの近道は学生の心をつかむことである。これを実践されているのだなと感じいった。

芝浦工大は男女共同参画を積極的に進めている。これは、工業大学とはいえ、ほとんどが男の教員という異常な環境に自分が驚いたからだ。なにしろ、女性教員ゼロの学科が10個もあったのである。イノベーションはダイバーシティからしか生まれない。女性のいない環境からは新しいものは生まれない。そこで、ふと、男女共同参画推進では先輩である東京都市大学と北澤先生のことを思い出した。そして、本学のシンポジウムに先生をお招きし、学長対談を行った。北澤先生の真摯な人柄と、深い洞察力もあって、この対談は、結構評判となった。その記録を現在まとめており、いずれ発表したい。その模様が下の写真である。



芝浦工大はスーパーグローバル大学に採択された。この事業では、明確なビジョンに基づく将来構想とともに、過去の実績も問われる。北澤先生からどうするか聞かれて、芝浦工大は必ず挑戦しますと答えた。東京都市大学も挑戦したと聞いている。何事にも前向きな先生であった。

もともと都市大と芝浦工大は四工大(東京地区にある工業大学で、工学院大学と東京電機大学も含まれる)仲間につきあいがある。年に一度、四工大の学長が集まって、大学間連携について話し合いながら、懇談する場が

あり、次回は北澤先生と一緒にできると楽しみにしていた。

これを機会に連携を深めようと思っていた矢先に先生の訃報に接した。まことに惜しい逸材を亡くしたと残念でならない。ただただ、ご冥福をお祈りするのみである。

## 北澤先生の思い出 Memories of Prof. Kitazawa

物質・材料研究機構(NIMS)

室町英治

National Institute for Materials Science (NIMS)

E. Muromachi

北澤先生のご訃報に接して、ただ驚くばかりでした。私はずっと先生を自分の師であると勝手に思ってきました。私が超伝導の研究に足を踏み入れたのは、1986年のBednorzとMüllerの高温超伝導体の発見に端を発する、所謂「超伝導フィーバー」が正に盛り上がりそうするときでした。しかし、当時の多くの研究者がそうであったように、BednorzとMüllerの研究に直接触発されたわけではなく、彼等の研究を大きく進展させた東大グループの仕事が契機となりました。北澤先生はもちろん東大グループの中心的存在でありましたし、私の所属する無機材質研究所(NIMSの前身)の客員研究官も務められていました。私は先生から強い影響を受けて、超伝導の世界に飛び込んでいくことになりました。先生がいっしょにしなければ私の研究人生はずいぶん違ったものになっていたと思います。超伝導という魅力にあふれた世界を私に提示していただいた先生に、感謝しても感謝しきれない思いです。この思いを先生のご存命中にお伝えできなかったことが悔やまれます。

先生との思い出はたくさんあります。1989年の春ではなかったかと思いますが、先生は米国MRSで超伝導のシンポジウムをオーガナイズされ、そこに日本の超伝導の若手研究者を連れて行かれました。大変有難いことに私もその一員に加えていただきました。それは私にとって、初めての大きな国際会議でのオーラル発表であり、忘れられない思い出の一つです。先生は流暢な英語を駆使して、外国人研究者と丁々発止という感じで渡り合っていました。一方の私は足が震えるほど緊張しながら、必死の思いで英語の発表を行いました。先生の大きさと自分の小ささ改めて実感したときであり、いつか先生のようになりたいと強く思ったものでした。

2001年にNIMSが設立され、その後、内部組織として超伝導の研究センターが設置されました。私は、北澤先生が超伝導の重要性を折に触れてNIMSの経営陣にイ

ンプットしたことが、このセンターの設立に繋がったと信じています。私がセンター長を拝命しましたが、この点でも先生は私の人生に大きな影響を与えました。先生がJSTの理事に就任されるまでの短期間ではありましたが、先生にセンターのアドバイザーになっていただき、実に色々なことを教えていただきました。このときの何でもない出来事がなぜか記憶に残っています。お忙しい先生の都合がつかず、真冬の暖房が入らない休日にNIMSでご指導いただいたことがありました。辺りが暗くなるまで寒中、議論を続けていただき、最後に「年を取ると寒さに弱くなってね」と笑われたことがありました。今から思えば、先生はなぜ私達のためにあんなにも一生懸命になってくれたのでしょうか。ただただ感謝あるのみです。

北澤先生のご冥福を心よりお祈りいたします。

## 北澤宏一先生の思い出 Koichi Kitazawa Remembered

住友電気工業株式会社  
佐藤謙一  
Sumitomo Electric Industries, Ltd.  
K. Sato

北澤宏一先生の急な訃報に驚いたのは私だけではないと思います。それは本当に急でした。高温超電導の生みの親であり日本の科学技術のオピニオンリーダーの一人であった先生の急な御逝去の報は多くの方に本当に残念との思いを抱かせたと思います。

私個人の先生との出会いは1989年のMRS春の大会の開かれたサンディエゴのことでした。MRSの会場であるサンディエゴのホテルの部屋に突然電話が鳴り一緒に夕ご飯でも食べましょう、とのお誘いの電話でした。HTSの関係では私の最初の海外出張でもあり非常に緊張していた私を暖かく迎えてくれたことを覚えています。その頃は常温核融合の話題が沸騰していた時でありそれについても議論させていただいたことを懐かしく思い出します。

その後、高温超電導関係では、1990年の秋のMRSに引き続いて行われた約1週間の米国研究所の調査団、1992年のWorld Congress、1994年のGordon Research Conference、1995年のMRS-ISTECのマウイでの高温超電導Workshopなど多くの会議で一緒させていただき多くの薫陶を受けることができました。その当時の懐かしい写真をご覧いただくと、写真1は1989年のMRS、写真2は1990年の調査団の時の写真です。特に写真2は

思い出が多く、夕食時に北澤先生を囲んでいろいろな議論をさせていただき有意義なものになりました。

北澤先生は磁気科学の面では日本でのこの分野の旗振りをされ、我々も北澤先生の御指導の下、ビスマス系超電導線を用いた励磁速度が速いという特徴を持つ7テスラの20 K運転の伝導冷却型マグネットを開発することができました。この成果は1997年の北京でのMagnet Technology国際会議で発表することができ、世の中から大きな反響を得ることができました。その後の展開はこの技術が高温超電導マグネットの一つの大きな方向性を示し得たと思います。



写真1 1989年4月のMRS春の大会にて  
(北澤先生、岸尾先生と)



写真2 1990年12月の調査団

科学技術振興事業団に移られる前後には高温超電導線の性能向上について御相談にのっていただき、その後の性能向上に大きな寄与をしていただけたことには大きな感謝の気持ちを持っています。

高温超電導に収まることなく日本の科学技術のトップとしてその後の北澤先生の活躍は述べるまでもありません。またJSTの高温超電導関係のプロジェクト創設についてもいろいろな面で御助言をいただいたことを感謝しています。

急な御逝去が本当に残念でありませんが先生の薫陶を受けた私たちが少しでも北澤先生の御意志を継いでいけたら、と思います。

北澤先生の御冥福を心からお祈り申し上げます。

## 北澤宏一先生を偲んで

In memory of Prof. Koichi Kitazawa

(公財)国際超電導産業技術研究センター

田辺圭一

ISTEC

K. Tanabe

昨年の9月下旬、北澤宏一先生ご逝去の報を聞いたときには本当に驚きました。というのは4月上旬に東京都市大学の学長室に先生をお訪ねした際に、新入学生のモチベーションを高める数々の方法や学長としての新たな試みについて熱く語られていたお姿が強く記憶に残っていたからです。

北澤先生は1980年に、ISTEC副理事長と超電導工学研究所(SRL)の初代所長を務められた田中昭二先生(当時は東京大学教授)の要請を受け、東大工学部の応用化学科から物理工学科に移られ(当時は助教授)、酸化物超伝導体の研究を開始されました。私が修士課程修了で田中研究室を離れた直後でしたので、先生に直接ご指導いただくことはありませんでしたが、卒業後に研究室を訪問しお話しした際には、超伝導研究に対する熱意はもちろんのこと、人を引きつける明朗なお話ぶりが強く印象残りました。

その後、1986年の9月にベドノルツとミュラーの銅酸化物La-Ba-Cu-Oの論文に目を留められ、指導された学生がマイスナー効果とゼロ抵抗を確認し、これを論文としていち早く発表することで、この物質が高温超伝導体であることが世界的に認知されたことは有名な事実です。これは、田中先生、北澤先生、内田慎一先生(当時助教授、現東京大学名誉教授)、高木英典先生(当時助手、現東京大学教授)4名の方々とそのグループの大きな功績ですが、特に北澤先生は、MITで学位を取得された経験を活かし、米国での学会や議会の要請を受けて数々の講演を行われるなどのご活躍により、高温超伝導研究開発の世界規模での爆発的な広がり、いわゆる高温超伝導フィーバーの立役者の一人とられました。また、国内でも、応用物理学会に超伝導分科会を設立され、初代幹事長を務められるなど、学会の中での超伝導分野のプレゼンスの向上に大きく貢献されました。私も90年代半ばのNTT研究所在職時に2回ほど自分の

成果に対するご意見をいただきに伺いましたが、先生は真摯に話を聞いてくださり、また有益なアドバイスをいただいたことを記憶しています。このようなことができたのも、気さくで責任感の強い先生のお人柄によるものであり、先生は高温超伝導分野のご意見番であり、大応援団長ではなかったかと思います。

その後、先生は2002年に現在の独立行政法人・科学技術振興機構に移られ、専務理事として、そして2007年から2011年までは理事長として超伝導を含む我が国の科学技術の振興と発展に尽力されると同時に、超伝導技術の可能性と将来の夢について、我々研究者と社会に向かって常に熱く語りかけておられました。この間も、2003年夏に八ヶ岳で行われた茅コンファレンスで若手研究者や学生を勇気づけられていたことや、2006年のシアトルにおけるASC基調講演での地球規模の超伝導送電網という夢のお話などが大きく印象に残っています。また、2012年からはISTECの顧問と国際超電導シンポジウム(ISS)の組織委員長を務めていただき、こちらでも大変お世話になりました。

先生は、2013年に東京都市大学の学長に就任され、理系学生の教育にも斬新な発想で再び取り組もうとされていた矢先のことであり、先生のご無念もいかばかりかと思いますが、先生のご逝去は、超伝導の学会、業界、そして私の所属するISTEC、SRLにとっても大きな損失で、残念でなりません。北澤先生のこれまでのご指導、ご支援に深く感謝すると共に、ご冥福を心よりお祈り申し上げます。先生のお力には足下にも及びませんが、先生の立ち上げられた超伝導分科会の幹事長もその後務めた者として、高温超伝導技術の実用化、事業化に向け微力ながら今後も尽力していきたいと思っております。



ISS2013(船堀)での組織委員長としてのご挨拶

## 北澤先生を偲んで

In memory of Prof. Koichi Kitazawa

超伝導科学技術研究会会長  
東京大学大学院 工学系研究科  
下山 淳一

Faculty of Engineering, The University of Tokyo  
J. Shimoyama

北澤先生に最後にお会いしたのは8月10日の夕方、日々ご多忙のなかりフレッシュのために越後湯沢の別荘に出発される直前の面会でした。30分くらいの雑談の間いつになく思い出話が多かったことを覚えています、約30年間にわたり公私にわたって数多くのご指導をいただいた北澤先生からお話を聞く最後の機会になったことは大変残念でした。以下には30年間に頂戴した印象に残っているお言葉をもとに私なりに「恩師」北澤宏一先生を振り返ってみたいと思います。

「君はなかなか乱暴だね」：北澤先生が1986年の春に物理工学科の田中研究室から、工業化学科の笛木研究室に移ってこられたときで、これが実質的に最初にかけていただいたお言葉でした。私が大きな木槌を振って古い実験台を解体しているのを見て“力づくで解決しようとする乱暴者”という印象を持たれたそうで、この最初のイメージは遂に払拭されないままだったような気がします。

「君は協力してくれないのか」：1986年秋、La-Ba-Cu-O系における超伝導を確認する研究の最初の頃は私も片手間で実験に参加していました。やがてこの画期的な高温超伝導現象の研究に多くの研究室の学生がテーマを変えて加わっていきましたが、私は自身の研究テーマに固執しており、テーマを超伝導に変える気がないと発言したときに発せされた言葉です。ちょうど透明導電性酸化物の平衡状態における酸素吸着現象の研究を行っていたときで、これも新しい重要な研究であることを北澤先生に訴えたところ、翌朝、私の机の上に参考となる文献がそっと置かれていました。このとき、区切りがいたら研究テーマを超伝導に変えようと決心したのです。

「それは僕一人ではOKできないよ」：1989年春、当時会社勤めをしていたのですが、仙台で行われた研究会で北澤先生と一緒にになりました。宿が取れないとのことだったので私が予約していた旅館の和室に同宿することになったとき、思い切って北澤先生に仲人を申し込んだ際の返事です。初めての仲人話で奥様の了解が最優先とのこと、超伝導フィーバーの真っ只中の研究会での熱い討論の直後においても奥様を大切に思われていること

がよくわかりました。

「僕が迎えに行くよ」：北澤先生から私が聞いた最も嬉しそうな声でした。1994年秋、学内にてギックリ腰で全く動けなくなり、内線電話でSOSを発したときの声です。同病相憐れむ、のごとく、ともにギックリ腰を持病としていた北澤先生と私はこの後もどちらかが発症するたびに半分笑いながら労わり合い、しばしば雑談のネタにしていました。最後に労わりの言葉をかけたのが、昨年7月のことです。

「運命なんだ」：2002年5月1日、東大正門前近くの居酒屋に同じ学科の助教授4人で入った際、1階のカウンター席で難しそうな顔をして一人の男性と話し合っている北澤先生を発見しました。我々に見つかったのが気まずそうな雰囲気でしたが、会計のタイミングが一緒になり、私に話があるとのことで北澤教授室に行きました。21時頃からだったと思いますが、それから延々11時間、先生が淹れてくださったお茶を何杯も飲みながら議論を行ったのです。いきなり、「あと半月ほどで大学を辞めて、JST(当時の科学技術振興事業団)に行くことになった。さっき会っていたのはJSTの人。」と仰られ、私は酔いが完全に醒める以上の衝撃を受けました。北澤先生は東大化学系の超伝導研究の大黒柱でしたから、そんな急な転職は困る、と率直に申し上げました。この後の長い議論のほとんどはかなり生臭い裏話やSUPERCOMなどを含む引継ぎ話でしたが、結果的に先生ご自身の困惑と「運命なんだ」と決心に至るまでの説明をいただき、渋々納得したふりをして翌朝8時半からの講義にふらふらになって臨んだことを覚えています。その後、私自身がいろいろな問題を抱えて北澤先生にアドバイスを求める機会が幾度とありましたが、「運命なんだ」からといつも諭されていました。そして、最後にお会いした日にも、「みんな高温超伝導の発見があったからこそ運命なんだよね。」と言われていました。

ところで、私が憧れていた北澤先生の能力に、難しい科学現象や原理をわかりやすく伝える話術があります。中高生対象の体験実習的なイベントや一般の市民講座などに同行させていただいたことが度々ありましたが、何とも上手な言葉の選び方、間の取り方の説明によって、参加者をワクワクさせ話に惹き込んでいく技術にはいつも感服していました。これに限らず様々な場、例えば国の重要な会議などでも、相手を理解させる話術を当たり前のように駆使されていたのだと思います。科学技術の実情とその利用の夢を国や社会に発信する力は、北澤先生のご逝去によってかなり低下したのではないかと疑わざるを得ません。

本超伝導科学技術研究会では北澤先生の意思をできるだけ引継ぎ、微力ながらも超伝導および関連の科

学技術情報の発信に努めていく所存です。北澤先生には永世顧問として天国から見守っていただきたく、また、夢に現れての厳しいご指導を賜りたく存じます。

謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

## 北澤宏一先生の心

Heart of Prof. Koichi Kitazawa

一般社団法人未踏科学技術協会

木村茂行

The Society of Non-Traditional Technology

S. Kimura

北澤宏一先生に初めてお目にかかったのは、正確に覚えていないが、1976年以降の結晶成長学会だったように思う。お会いした時に、すぐにMITの博士だったことが分かり、当方も米国の博士号を持っていたので、名刺に掲載する肩書が話題になった。当方の名刺を見て「理学博士となっていますね」とおっしゃる。「本当はPhDなのでしょう？自分も当初翻訳のつもりで工学博士としていたら、知人に学歴詐称であると言われました。」とドキリとするようなことをおっしゃる。それ以来、当方の名刺には、肩書としてPhDが載ることになった。

この時以来のお付き合いで、40年に近い間、いろいろなお指導を頂いた。当方が無機材質研究所(無機材研)在勤時代は、研究グループに付随した外部に開かれた研究会があり、その外部研究者として折に触れてご参加頂いた。また研究所では予算が間に合わなくて入手できなかったキセノンランプ式集光加熱FZ装置を本郷の北澤先生の研究室(笹木研の時代)で使わせて頂いたこともある。さらに、当方が無機材研所長の時代には、経営の評価に関してもお手を煩わせたことがある。このような折の北澤先生の論評は極めて厳しいものがあり、当方の無佐為に恥じ入るばかりだったが、最後に必ず「なぜそのような無佐為が発生したか」という解説が付いたので、逃げ場を与えて頂いた印象があり、有難い思いをした。

北澤先生が1980年前後から超伝導体に興味を持っておられ、研究を進められたことは知っていたが、結晶成長に興味の中心があった当方には、その面白さが良く理解できなかった。ただ、北澤先生は非常に広い分野に知人を持っておられ、仲介をお願いするのに便利な方であったことは、有難いことだった。後に考えると、そのことが、超伝導フィーバーの折に一举に国内の基礎研究が開花することになった。

未踏科学技術協会は平成25年7月に創立40周年を迎えることができた。その折に、関係者による座談会を

開催し、協会の歴史を出席者から話して頂いた。その中で北澤先生からは下記のようなお話を伺った。座談会の内容は、協会々誌の創立40周年特集号に掲載したが、ページ数の関係で、北澤先生の発言を、大幅に削除した。ここでは少し長いですが、なるべく削らずにご紹介したい。その理由は、北澤先生が日本の超伝導関連研究者にどうしても伝えておきたいと思っておられたことが網羅されている、と考えられるからである。

私(北澤)がこの未踏科学技術協会にお世話になったのはいまから27年前、1986です。この二十数年というのは、まさに日本が高度成長を遂げて、大国の仲間入りをする時期から、バブルがはじけて日本が低迷する時代に入った、そういう時代です。この間を超伝導というチャンネルを通して未踏科学技術協会から研究の支援を受け、我々としてもここ約二十数年の低迷の時代を経て、ようやくまた明るい兆しがみえたかな、と思うのが最近の状況です。今思い出しますと、1986年頃は、高温超伝導体ではなくてそれ以前の低温超伝導体が、なかなか臨界温度も上がらないし、性能が良くて素晴らしい材料なのだけれど極限材料として特別の用途にしか使えないね、と言われていた時代でした。当時金属材料技術研究所に太刀川先生がおられ、先生を中心に、日本の金属の超伝導体が、世界でも最も優れた材料として開発されている、という時代を経たころでありました。超伝導の臨界温度が上がれば素晴らしいのだが、と常に言われていたのです。そこへ、1986年に酸化物の超伝導体で金属の当時の23ケルビンをいきなり飛び越して、最初は37ケルビン、その次は90ケルビン、ついには120ケルビンを超すような酸化物の超伝導体が次々と発見された、という時代が急に訪れました。今思い出して見ますと、その1986年の時点では、日米貿易摩擦が起こっていて、アメリカと日本との間には日米半導体摩擦と呼ばれる技術摩擦も起きていた。アメリカから、日本は基礎研究では貢献しないで量産段階になっていきなり入り込んでくるアンフェアな国である、と言われて、日米半導体協定会議の中ではいつも日本側の委員は後ろめたい気持ちで「基礎研究ただ乗り論」をととても悲しく思っていた、という時代であったかと思えます。その頃に高温超伝導体が出ました。私は当時助教授でした。教授の田中昭二先生は日米半導体協定の会議に出ておられましたが、「日本は今後は基礎研究をとにかくちゃんとやらなくてははいけない。アメリカに対して高温超伝導がこれからすごいことになる、だから、高温超伝導に関する限り日本が基礎研究をちゃんとやらなかったなどと、決して言われてはならない」と私たちに言いました。「基礎研究できちんとやる」とは、「アメリカが10報論文を

出したら、日本も10報論文を出せ、とにかく論文の数で負けていかん」ということだと言われたのです。アメリカでは、何かいい研究があると、必ずものすごいスピードで立ち上がる。ところが日本では、どこかから、特に日本国内で誰かが先に発表してしまうとしらっとして、なかなか立ち上がらない。だから、「最初は特に肝心だから寝ないで研究をやれ」と言われました。みんなその後寝ないで研究をやることになりました。学生たちも徹夜々々と言う感じで研究することになりましたが、それは実はアメリカも同じでした。次々と臨界温度が上がって行くような新物質の探索研究は、学生たちもとても興奮する研究でした。そのために、世界中がものすごいフィーバーに巻き込まれたのが、1987年だったのです。私たち最初の結果を1986年の12月5日にボストンで行われたMRS国際会議で発表しました。その発表は私が行ったのですが、その時初めて世界の国際会議で高温超伝導体のことが発表されたというので、今でもMRSは世界で初めて高温超伝導の研究発表があった場所である、ということを誇りにしています。実は我々の研究そのものは、その前の1986年の4月のIBMチューリッヒのベドノルツとミュラーの研究成果を基に始まっているのですけれども、彼らの研究のデータはまだ世界中の人たちを納得させる説得力はなかった。12月5日に私たちがボストンで発表したニュースを基に世界中にフィーバーが津波のように広がって行ったとその後言われるようになりました。

私たち12月5日に論文を国際会議で発表して、12月8日にJapanese Journal of Applied Physics(JJAP), Lettersという雑誌に最初の論文を投稿しました。ところが、12月5日に発表を聞いてすぐにベル研究所やヒューストン大学が研究を開始し、そして12月の末から1月の初旬にヒューストン大学やベル研究所から最初の論文の発表がありました。これらが、Physical Review Lettersに投稿されたのです。そうしたら、なんと、米国物理学会の会長さんが、「論文というのは最初に印刷されたものが引用される。だから、アメリカはその二つの論文について超法規的な措置を取って、投稿された論文を直ちに印刷した」と発表したのです。日本の雑誌は通常通り3カ月くらい期間を経て印刷された、ということが実は起こりました。これは、日本としては急速に立ち上がる研究が行われる時に学会その他がどうすべきか、ということ思い知らされる事件だったのです。その時にJJAP Lettersの編集長だった深井先生、中央大学理工学部の先生が私のところに謝りに来られて、「まさかこういうことが世界で起こるといことは、想像できませんでした」と言われ、「日本の状況を見るに、高温超伝導体の研究は非常に活発に行われるようになったので、それをさらに活発化するために3月の中旬までに論文が投稿されたら、それらをす

べてすぐに審査して、4月早々に全部まとめて4月号に印刷しましょう、特集号にしましょう」という提案をしてくださいました。そして3月の中旬になって、それまでに86報の論文が投稿された、と深井先生から報告を受け、これは素晴らしいことが起こった、と思いました。その頃、アメリカはとてもそんなに立ち上がっていないのはいいか、これは日本の基礎研究が非常に活発に行われているということを世界に周知徹底するチャンスだ、と思いました。

3月の18日でしたか、ニューヨーク・ヒルトン・ホテルでアメリカ物理学会が行われ、私たちは参加しました。田中昭二先生が招待講演で、その日は、アメリカ物理学会ではまだ、スケジュールの中に高温超伝導と言う言葉は入っていませんでした。普通のセッションでは時間を取ることができないので、午後7時になったら、高温超伝導のセッションを始めることになりました。会場にはものすごい数の人たちが集まり、殺気立った雰囲気、中に入れない人たちが廊下に溢れていました。中に入った人たちも、消防署の方から「これではあまりに危険だから会議を開いてはならない」、と言われ、相当の人が押し出されました。あのフィーバーの頂点になるような会議でした。結局、なんと午前3時まで会議が続いたのです。その時に、またアメリカ物理学会の会長から発表がありまして、アメリカでは、Physical Review Lettersになんと85報の論文が投稿されました、ということを発表したのです。日本では実は86報投稿したうちの1報はリジェクトされていて、全く同数の論文がPhysical Review Letterに投稿された、ということになったわけです。その後分かったのですが、日本の研究はかなり先に進んでいました。相当高温超伝導体の性質というものが日本ではかなりよく解ってきたかな、と思いました。アメリカではまだ、抵抗がゼロになりました、という段階だったかなと思います。

5月の初旬に、その85報の論文を載せたもの、つまりJJAP Lettersの4月号が発刊されたのですけれども、その時にカリフォルニアのアナハイムというところで、MRSの春の学会が行われ、その時MRSは「世界で初めて高温超伝導の国際会議を特別にやります」と標榜しシンポジウムを開催しました。それで私は田中先生に、「これはチャンスです。是非JJAPレターの特集号を持って乗り込みましょう」と提案させていただいたことを、今非常に印象深く覚えています。なぜ印象深かったかというと、その会議の4日前に印刷が出来上がることが分かったのです。それで三井物産という商社に問い合わせたら、そこに教え子がいて、4日間あれば何とか印刷所から本をもらって、それを空輸してアメリカの税関手続きを経て、カリフォルニアのホテルの入り口に積んで見せませう、という答えを頂いた。運賃が税関手続きも入れて300万円、そ

してJJAPにお伺いしたところ1冊3700円、その会議には1000人来ます、じゃあ1000冊で370万円、よし370万円の雑誌代で、300万円の運賃と、670万円なら、田中先生あなたの退職金よりは安いですよと申し上げて、僕は発注してしまいました。田中先生の了解も得ないままに、です。田中先生が、「アメリカが10報出したら日本も10報出せ」と言うときに、この特集号の雑誌はまさにそれが基礎研究の段階で日本が頑張ったという証拠ですよ、と後に引けないような気持ちでとにかく発注して、そして田中先生が特別講演をされたところで、三井物産の人たちが、その日多勢来てくださって、その1000人の人たちに配ってくださった。しかもその1000人を名前まで書かせて、それで世界の高温超伝導研究の1000人という、そういうリストを三井物産の方々には作られた。その後三井物産は、高温超伝導のビジネスに私たちも参入します、と書かれて、実はメノウ乳鉢を売るとか、電気炉を販売するとか、いろいろなことをやられたのだと思います。いずれにしても、輸送費300万円の請求書はいまだに三井物産から来ていません。JJAPからも、結局請求書370万円はいまだに届いていない。そんなところに皆さんが応援して下さったなあ、ということを感じるのです。そんな事件がありました。

一方、未踏科学技術協会ですが、当時の科学技術庁の材料室長は服部さんで、この方は非常に素早かった。この高温超伝導の発表があった直後に、なぜか重要性に気づかれて、私たちの研究室に来られた。そしてすぐに私に未踏科学技術協会に来て話をするように、と言われました。そこに、金材研の方々、若い人が沢山来ていて、それでお話をしましたところ、これから毎週やりましょう、と服部さんに言われて、いろいろなお話をしました。するとすぐに金材研でも研究が立ち上がって、それで、しばらくする間に、金材研の前田さんのグループから、すごい発表があったわけです。これがビスマス系の超伝導体の発見につながりました。その前にヒューストン大学の方から、臨界温度92ケルビンのイットリウム系が、初めて液体窒素温度を超す超伝導体であると発表があったのが、1987年の2月から3月にかけてのことでした。そして、1987年の終わりごろに前田さんから、さらにそれを30ケルビン上回るビスマス系というものの発表があって、そしてビスマス系とアメリカで発見されたイットリウム系のものが今現在も実用高温超伝導線材に向けて開発が進む、ということになり、日米が入り乱れて戦うという状況になりました。未踏科学技術協会では、初期の服部さんが打ち立てられた研究会と、それから金材研の前田さんたちのビスマス系超伝導体の発見というこの二つを柱にして、科学技術庁の指導を受けてマルチコアプロジェクトというのを作られた。これは恐らく未踏科

学技術協会にとっては勿論、科学技術庁の材料室でも、過去最大級の大きなプロジェクトだったのではないかと思います。これが長い間続いて、その後の未踏科学技術協会の超伝導研究グループを支援して下さる背景になったかと思います。この未踏科学技術協会の支援が、スピードが速かった。通常は半年とか一年とか簡単にかかるのが、一週間のうちに次々と進んでゆく、そんな感じでした。それが日本の超伝導フィーバーというものをいやがうえにも盛り立て、さらに火をつけて、民間企業が大量参入するという状況になりました。

そうは言っても、材料の、しかも基本的にこれまでの扱われるシステムとは違うシステムを必要とするような、つまり低温で使わなければならない材料の実用化はそう簡単には進まないことを、その後嫌でも思い知らされる、という状況になるのですが、1987年当時、つまり発見された翌年に早くも日本の民間企業が多数立ち上がって、次々と特許を出して行かれた。住友電工は一年だけで700件の特許を出したと言われました。これは特許の専門家によれば、その当時日本の特許に比べてアメリカの特許の方が4倍ぐらい効果が高い、だから日本がアメリカに対して特許の上で対抗するためにはアメリカの4倍以上特許を出さないと対抗できない、とされていました。ところが、実際に後になってみますと、日本の特許の数はアメリカの7倍以上だった。特許の関係者も、今回のフィーバーに伴う超伝導の初期の産業界の研究による特許の申請数というのは、これは圧勝です、と言われたことを覚えています。

—以降省略—

以上が北澤先生の座談会でのご発言である。一年後の平成26年夏号の当協会会誌に巻頭言をお願いしたところ、同じお話の概要版をご紹介頂いた。創立40周年記念特集号の座談会記事で、ご発言内容の削り方にご不満があったのかも知れない、と感じた。そのために、ここで、ご発言のほぼすべてを記載した次第である。

北澤先生が座談会で述べられなかったことに、関係者への連絡の広さと速さがあったと思われるが、それに関する直接の証拠はない。が、山梨大学の田中功教授の手元に残っている、1988年9月に当時の山梨大学の児島直弘先生にあてたファクスを見せて頂いた折に、その片鱗を見る思いがした。これは当時山梨大学で作られていたLSCO単結晶のキャラクタリゼーションの方向性を児島先生に示唆したもので、17人ほどの国内外の研究者の名を連ねた詳細にわたるものである。北澤先生の人脈の豊かさを垣間見ることができる。想像をたくましくすれば、このような人脈があつてのJJAP Letters戦略の成功だったのではないだろうか、と思った。

北澤先生の心、という標題でここにこの座談会のお話を紹介したが、2つの意味がある。一つは明白なことであるが、1986～87年の出来事が北澤先生の人生の大きな部分を占めていたことを自ら述べられた、ということ、そしてもう一つは筆者の視点であるが、この一件が北澤先生の厳しさと優しさを併せ持つご人格を明快に示しているということである。

人生で最も信頼できる友人を失い、未踏協会の組織としても、木村個人としても、当惑している。気持ちの整理が出来ない。ご冥福を祈りたい。

## <トピックス 1>

### 超電導リニアの開発状況

Status of development of the Superconducting  
Maglev

東海旅客鉄道株式会社

池田 政隆

Central Japan Railway Company

M. Ikeda

#### 1. はじめに

2011年5月に、国土交通大臣からJR東海に対して、超電導浮上式鉄道(以下「超電導リニア」)による中央新幹線(東京都・大阪市間)建設の指示がなされ、超電導リニアの開発は大きな節目を迎えた。これは、「超電導リニア方式は、我が国が独自に開発してきた高速鉄道技術であり、同方式による中央新幹線の整備は、高速鉄道のイノベーションとして、世界的に我が国の鉄道技術を発信する」、「今般の東日本大震災の経験を踏まえても、大動脈の二重系化により災害リスクに備える重要性が更に高まった」、「超電導リニア方式は、地震時などにおいて電力の供給が停止された後でも電磁誘導作用により軌道中心に車両が保持されること、ガイドウェイ側壁により物理的に脱線を阻止できる構造を有することから、安全確保上の大きな利点がある」等の交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会中央新幹線小委員会から国土交通大臣に対する答申[1]を踏まえたものである。

2014年8月26日には工事实施計画(その1)を国土交通大臣に認可申請し、2014年10月17日に認可を受けた。夢の技術[2]と呼ばれて久しい超電導リニアは、研究・開発のフェーズから現実の建設・営業のフェーズに移行した。

1997年4月より走行試験を開始した山梨実験線では、2009年度から延伸・設備更新工事も進め、2013年8月に実験線を18.4 kmから42.8 kmに拡大して走行試験を再開した。車両も先頭4両・中間10両の計14両を順次製作し、営業運転を視野に入れた走行試験を実施することになっている。

本稿では、超電導リニア開発の経緯、そして今後の展望について述べる。

#### 2. 超電導リニアの歩み

##### 2.1 黎明期

旧国鉄が次世代高速鉄道の開発に着手したのは、今年から53年前の1962年、東海道新幹線開業の2年前

のことである。アメリカのブルックヘブン国立研究所のパウエル、ダンビイ両博士による超電導磁気浮上・推進に関する論文[3]に着目し、地上から10 cmの浮上が可能な超電導磁気浮上方式の研究を推進した。ドイツでは常電導電磁石によるシステム(中国・上海で営業運転されているトランスラピッドシステム)を開発していたが、1 cm程度の浮上高さしか確保することができず、地震が頻発する日本では浮上高さを十分に大きくすることが必要であるという判断に基づいている[4]。

開発は東京都国分寺市にあった国鉄・鉄道技術研究所で進められ、1972年には実験車ML100(図1)を製作、研究所の敷地の最大幅に近い480 mの軌道で時速60 kmの浮上走行に成功している。ちなみに、ML100の「ML」は磁気浮上Magnetic Levitationの頭文字、「100」という数字は、鉄道開業100周年の100からとったものである。



図1 鉄道技術研究所実験車両 ML100  
(写真提供/公益財団法人 鉄道総合技術研究所)

## 2.2 宮崎実験線

鉄道技術研究所での実験を経て、時速500 kmでの超高速走行を目的とした宮崎実験線(全長7 km)における走行試験を開始した。試験開始から2年後の1979年には、時速500 kmを達成することを期して名付けられたML-500(図2)により、無人走行ながら当時の世界最高速度時速517 kmを達成している。ここまでのガイドウェイ断面は、図1、2からもわかるように逆T字型をしていたが、1980年代以降は、現在の山梨実験線と同じU字型のガイドウェイが導入され、基礎試験は1996年まで続いた。



図2 宮崎実験線車両ML-500  
(写真提供/公益財団法人 鉄道総合技術研究所)

## 2.3 山梨実験線

宮崎実験線は時速500 km走行を実証することを目的とした基礎的な試験線であり、次のステップである実用化技術完成のために山梨実験線が建設された。全長42.8 kmの実験線のうちの先行区間18.4 kmにおいて、1997年より14年半にわたって走行試験を重ねてきたが、2011年9月に先行区間での走行試験を終え、累積走行距離は88万km弱(地球約22周)に達した。

山梨実験線における走行試験は、表1に示すように、きわめて順調に進捗した。2003年には、現在でも世界記録である有人走行での時速581 km、2004年には2編成によるすれ違い相対速度時速1,026 km(図3)を達成した。

表1 山梨実験線(先行区間)経緯

1997/04/03	走行試験開始
1997/05/30	初の浮上走行
1997/12/24	無人時速 550 km 達成
1999/04/14	有人時速 552 km 達成
1999/11/16	すれ違い走行 相対時速 1,003 km 達成
2002/07/23	新型車両走行開始
2003/12/02	有人時速 581 km 達成
2004/11/16	すれ違い走行 相対時速 1,026 km 達成
累計: 走行 878,699 km	
1日最高走行距離: 2,876 km	



図3 山梨実験線(先行区間)車両MLX01

なお、山梨実験線に投入された車両の名称はMLX01である。急行列車eXpressと実験eXperimentの2つの単語から「X」と名付けられた。

一方で、中長期的な技術開発にも取り組んでおり、2005年には高温超電導磁石を搭載した初の走行試験も実施した。高温超電導磁石は、ビスマス系高温超電導線材を使用し、現在、山梨実験線車両に搭載されているニオブチタン系超電導磁石に比べ、16℃高い-253℃で安定的に運用できることが特徴であり、超電導技術におけるエポックメイキングな出来事であった。

これらの走行試験の成果が認められ、2009年に開催された国土交通省の超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会においては、「超高速大量輸送システムとして運用面も含めた実用化の技術の確立の見通しが得られており、営業線に必要な技術が網羅的、体系的に整備され、今後詳細な営業線仕様及び技術基準等の策定を具体的に進めることが可能」との評価がとりまとめられた。

### 3. 山梨実験線 延伸・設備更新工事

#### 3.1 工事概要

実験開始から10年以上が経過した山梨実験線は多くの成果をあげる一方で、超電導リニア技術は、周辺技術も含めて格段に進歩している。このような現状を踏まえ、一段と高い技術レベルへの磨き上げを行うため、基盤技術が確立した実験線の設備を実用化仕様で全面的に変更した。さらには、長大編成車両によるトップスピードでの長距離走行や長大トンネルの走り抜けなどの技術的テーマに対応するために、延伸工事を実施し従来の18.4 kmの実験線を42.8 kmに延伸した(図4)。新実験線は当初計画よりも4カ月ほど前倒しで完成し、2013年8月から走行試験を順調に再開した。

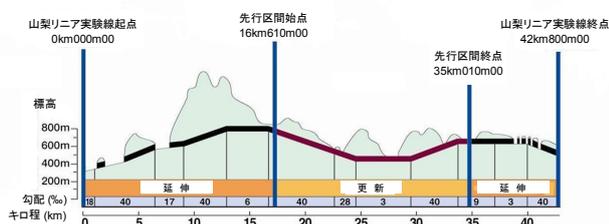


図4 山梨実験線 縦断面図

#### 3.2 新型車両概要

延伸後の新実験線においては、営業線仕様のプロトタイプである新型車両を計14両導入する。今後、客室内装等に若干の変更はありうるものの、この車両形状が営業線に向けた完成形と考えている。



図5 新型車両L0系の先頭形状

形式名称はL0(エル・ゼロ)系とした。「L」はリニア Linearの頭文字、「0」は東海道新幹線と同様に、営業線仕様の第一世代の車両を表している。新型車両は、ここまでの走行試験をはじめとする様々な技術開発の成果に基づいているが、外観上特徴的な点は、次の2点である。

- ①先頭形状の長さは15 mとした。車両の先頭形状は空力騒音および空気抵抗に大きな影響を及ぼすため、さまざまな検証を行ってきた。2002年には、先頭部の長さを23 m(従来車両の先頭部長さは9 m)にまで伸ばした試験車両を投入して空力特性の向上効果を確認している。L0系の先頭形状(図5)は、この試験車両と同等の空力特性を確保しながら先頭部の長さを短くし、先頭車両における座席数の確保を図ったものである。先頭車24名・中間車68名の定員とした。
- ②車両の断面は角型とした。従来車両の断面は円錐曲線を組み合わせたもので構成していたが、客室内の居住性や車体の製作性を向上するため、長年の開発と実車による検証により実現したものである。これにより、N700系新幹線車両と同等の客室上部区間を確保し、荷棚には中型のキャリーバッグを収納することが可能になった(図6)。

新実験線においては先頭車4両・中間車10両を新規に製作するが、そのうちの先頭車2両・中間車3両は、第一段階として新実験線での走行試験開始時から投入し、2012年11月に車両基地に搬入した。その後の様々な機器調整を経て、2013年8月より走行試験を再開し、2014年4月には、山梨実験線当初からの総走行距離が100万kmに達した。残りの車両も順次投入し、12両の長大編成での走行試験を2014年6月から7月にかけて実施し、営業線の設計に資する様々な走行試験データを取得することができた。また、2014年11月、12月には超電導リニア体験乗車を実施し、多くの試乗者に新型車両での高速走行を体験頂いた。



図6 新型車両L0系の客室

#### 4. 中央新幹線プロジェクト

当社は山梨実験線の延伸・設備更新工事を進める一方で、超電導リニア方式による中央新幹線について、第一局面として首都圏～中京圏間で2027年に営業運転を開始するべく、必要な手続きを進めている。

東京都を起点として大阪市を終点とする中央新幹線は、1973年に全国新幹線鉄道整備法に基づく基本計画路線として告示された。翌1974年には運輸大臣から国鉄に対して、そして1990年には、運輸大臣から当社と鉄道建設公団に対して地形・地質等に関する調査の指示が下された。2007年には当社が自らのイニシアティブのもとに東海道新幹線バイパスを推進・実現する検討を開始することを公表し、また、自己負担を前提に中央新幹線としての必要な手続きを進めることを決定した。2009年に必要な調査の報告書を当社が提出し終えると、2010年3月からの合計20回にわたる交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会中央新幹線小委員会における審議を経て、2011年5月に表2に示すような整備計画が定められた。

表2 中央新幹線整備計画

ケン セツ セン	中央新幹線
区 間	東京都・大阪市
走 行 方 式	超電導磁気浮上方式
最 高 設 計 速 度	505 キロメートル/時
建設に要する費用の概算額 (車両費を含む。)	90,300 億円
その他必要な事項	主要な経過地: 甲府市附近、赤石山脈(南アルプス)中南部、名古屋市附近、奈良市附近

(注) 建設に要する費用の概算額には、利子は含まない。

整備計画に基づき国土交通大臣から建設の指示を受け、環境影響評価の手続きを進めてきた。2011年8月には、中央新幹線(東京都・名古屋市間)計画段階環境配慮書を公表、そして、環境影響を総合的に評価す

るための調査計画を記した方法書を沿線自治体に送付・公告した。その後、山梨リニア実験線の知見を踏まえ、中央新幹線に特有の事項を付け加えて幅広く環境影響評価項目を設定し、確立された最新の手法を積極的に取り入れて環境影響評価を進め、2013年9月に準備書を公告した。そして、沿線都県市で開催された環境審査会等での準備書に対する審議も踏まえ、2014年4月に環境影響評価書を取りまとめ国土交通大臣に送付した。その後、評価書に対する国土交通大臣意見について検討の上、最終的な評価書を作成し、国土交通大臣、関係都県知事、及び関係市区町村長に送付した。2014年8月29日には、最終的な評価書を公告、縦覧に供し、工事実施計画の認可前における環境影響評価の手続きを完了した。また、最終的な環境影響評価書の送付と同日に、2014年8月26日に中央新幹線品川・名古屋間の工事実施計画(その1)(表3)を国土交通大臣に認可申請し、10月17日には認可を受けた(図7)。

表3 工事実施計画(その1)の概要

区間	品川・名古屋間
駅の位置	品川駅 (併設: 東京都港区港南) 神奈川県(仮称)駅 (新設: 神奈川県相模原市緑区橋本) 山梨県(仮称)駅 (新設: 山梨県甲府市大津町字入田) 長野県(仮称)駅 (新設: 長野県飯田市上郷飯沼) 岐阜県(仮称)駅 (新設: 岐阜県中津川市千旦林字坂本) 名古屋駅 (併設: 愛知県名古屋市中村区名駅)
車両基地の位置	関東車両基地(仮称) (新設: 神奈川県相模原市緑区島屋) 中部総合車両基地(仮称) (新設: 岐阜県中津川市千旦林)
線路延長	285.6 km 【構造物】 トンネル : 246.6 km(約 86%) 高架橋 : 23.6 km(約 8%) 橋りょう : 11.3 km(約 4%) 路 盤 : 4.1 km(約 2%)
線路の概要	最小曲線半径 8,000 m 最急勾配 40‰ 軌道中心間隔 5.8 m 以上
工事費	4 兆 158 億円 (現時点での総工事費は 5 兆 5,235 億円 【車両費含む。山梨リニア実験線既設部分は除く】)
完成予定時期	2027 年

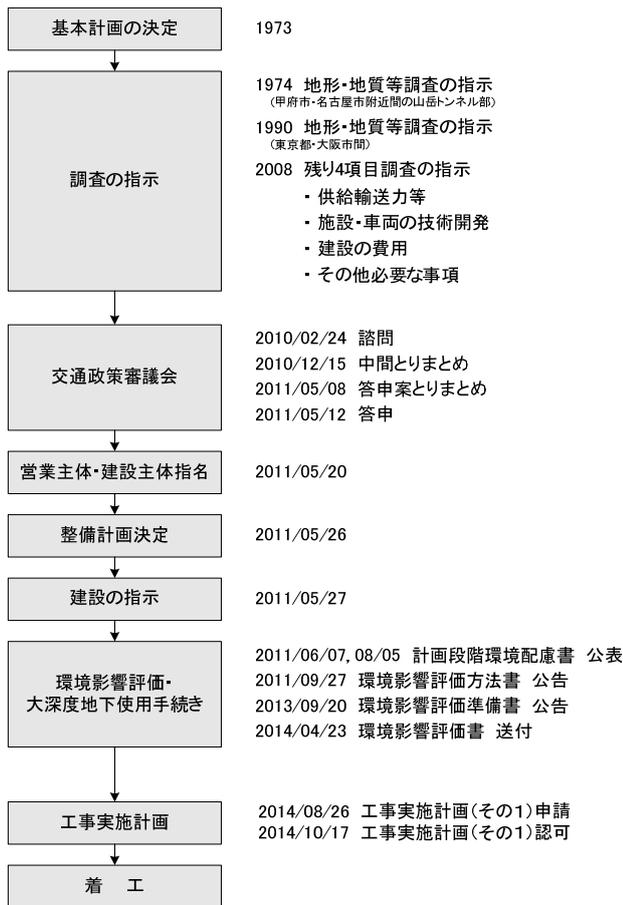


図7 中央新幹線の整備フロー

## 5. まとめ

第一局面としての東京都・名古屋市間の2027年営業開始、そして最終的には大阪市までの建設と営業という長期間にわたる、また民間の事業としては前例のない規模のプロジェクトであるが、超電導リニア営業線完成という目標に向けて、今後も着実に取り組みを進めていく。

## 参考文献

- [1] 交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会中央新幹線小委員会、“中央新幹線の営業主体及び建設主体の指名並びに整備計画の決定について”、答申(2011)
- [2] 中央新幹線沿線学会議、リニア中央新幹線で日本は変わる、PHP 研究所(2001)、172-187
- [3] Powell, J.R. and Danby, G.R., “High-speed transport by magnetically suspended trains,” ASME, Publ no. 66WA/RR5 (1966)
- [4] 澤田一夫、三好清明、翔べ！リニアモーターカー、読売新聞社(1991)、52-75

## <トピックス 2>

### 高温超電導ケーブル実証プロジェクト ～冷却システムの成果と課題(1)～

Result and issue of the cooling system for  
HTS cable demonstration project

株式会社前川製作所

仲村 直子

Mayekawa MFG. CO., LTD

N. Nakamura

### 1. はじめに

NEDO「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」は、1年以上にわたる系統連携運転を2013年12月に終え、翌年2月に終了した[1-3]。実証試験中に起こった冷却システムの数々の出来事について、これまでに何度か報告を行ってきたが、本稿では本プロジェクトで得られた冷却システムの成果と課題を改めて整理し、紹介する。

### 2. 実証用冷却システムの成果と課題

#### 2.1 冷却システムの構成と運用[4]

実証試験に用いた冷却システムを図1に示す。本冷却システムは、1 kW級スターリング冷凍機、循環ポンプ、リザーバタンクで構成し、液体窒素(以下、LN2)で高温超電導ケーブルを循環冷却した。実績のある方法や機器で構成することが前提条件であったため、過去の使用実績を考慮して冷凍機、循環ポンプを選定し、それらの機器を中心にシステムを構築した。

算定された高温超電導ケーブル熱負荷より、予備2台を含めて6台の冷凍機を用いた。冷凍機のコールドヘッドに設置されたコイル状の熱交換器内にLN2が流れるため、熱交換器部での圧力損失を考慮する必要があり、冷凍機は2台を3並列に配置した。また、メーカー推奨の冷凍機メンテナンス間隔は8,000時間で、同じ冷凍機で運転を続けると実証試験中にメンテナンス時期を迎えるため、運転する冷凍機をローテーションさせて運転時間の平滑化を行った。なお、冷凍機の配置、運転方法は、地中線電力ケーブル水冷装置の構成、運用方法を参考にしており、現状の電力設備の考え方を踏襲した。

循環ポンプは、揚程0.25 MPa@40 L/minの同性能の2台を並列に配置し、1台を予備機とした。2台の循環ポンプは、当初1台のみを運転し、交互運転による運転時間の平滑化を行う予定であった。後述するが、冷凍機やポンプのシステム検討時には、これらの方法で上手く運転出来ると考えていたが、予想外のことが起こり、運

用でカバーすることになった。

循環するLN2の温度、圧力、流量をコントロールしてサブクール状態での安定循環をキープした。LN2の温度は、LN2の融点、高温超電導ケーブルの臨界温度、短絡電流等の影響を考慮し、冷凍機の運転台数制御にてケーブル入口温度を $69 \pm 1$  Kで制御した。LN2の電気絶縁性能を考慮し、リザーバタンク内をゲージ圧0.2 MPaに保つために自然加圧制御を用いて加圧した。また、循環系内の圧力上昇にも対応するため、減圧装置をリザーバタンクに設置した。実証試験中のLN2の温度、圧力、流量のコントロールに関しては、比較的設定通りに運転することが出来た。

実証試験場として採用された旭変電所は、原則無人のため、冷凍機、循環ポンプ、加圧制御、制御に使用したセンサーが故障した場合、自動的に予備に切り替えるシステムとした。また、機器やLN2循環状態の遠方監視や、警報発報時に関係者にメールを飛ばし、対応する運用体制を構築して実証試験に臨んだ。なお、実証試験中に軽微な警報が数回発報されたが、「なぜか休日に限って警報が出る」とは、プロジェクト関係者の談である。

一般的に、極低温機器の故障やメンテナンス時には、システム全体を停止し、昇温させて機器を交換するが、本実証試験では、主要機器の故障、メンテナンスでの機器交換時にも循環運転を継続させる必要があり、停止した循環ポンプや冷凍機の各機器をLN2循環からバルブで切り離して昇温し、交換した。この際に、水分がLN2の配管や容器内に入ると固化した氷がLN2循環を閉塞させるため、機器の交換時には厳重な注意を払い、作業を行う必要があった。

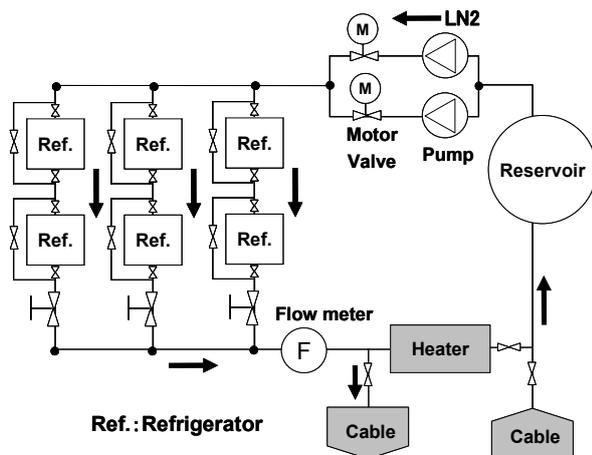


図1 実証試験用冷却システム

## 2.2 実証試験での冷却システムの運用成果

実証試験中のLN2の温度、圧力、流量を図2に示す。まずは、1年以上続いた実証試験中に循環冷却を止め

なかったことは大きな成果と考えて良い。極低温設備の長期運用事例を調べていて個人的に思ったことだが、1年以上の連続運転実績を持つ冷却設備は少なく、今回の運転実績は極低温の設備としても貴重な成果なのかも知れない。

次に、LN2無補給で運用可能な冷却システムを構築出来たことも成果と言える。冷凍機の運転台数制御による温度制御、リザーバタンクでの圧力制御により、LN2のサブクール状態がキープされ、安定した長時間の循環冷却を実現することが出来た。

また、実証試験中に複数回の冷凍機交換作業を行ったが、作業中のLN2循環状態は安定しており、氷等によるLN2循環の閉塞もなく、LN2循環運転を維持しつつ、機器だけを個別に切り離して交換する作業技術を確立することが出来た。

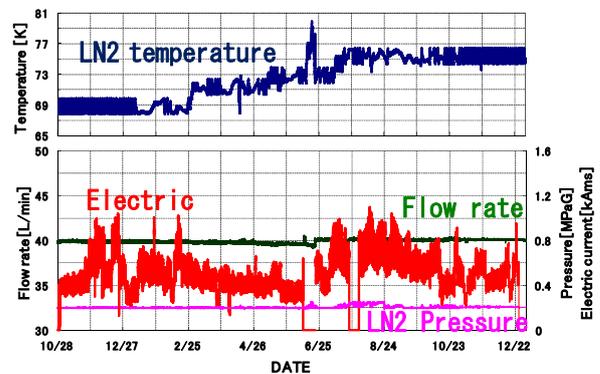


図2 実証試験中のLN2循環状態

## 2.3 実証試験での循環ポンプの運用課題

循環ポンプ性能確認試験の結果、本冷却システムで使用した循環ポンプの効率は49%であった。さらに、損失51%の中の26%がLN2へ侵入し、残りはモーターでの放熱等により消費されることが分かった。本プロジェクトでは、高温超電導ケーブルでの圧力損失が小さく、ポンプ容量も小型であるため、ポンプ効率が冷却システム全体効率に与える影響も小さいが、将来の高温超電導ケーブル長尺化を考えると、ポンプ効率の向上も今後の課題と思われる。

当初、循環ポンプの運用は、同性能の循環ポンプ2台を並列に配置して1台を運転し、もう1台を予備と考え、交互運転および故障時自動切替えを行う予定であった。しかし、循環ポンプ故障模擬試験の結果、運転中の循環ポンプから停止中の循環ポンプへ切替える際に、ポンプの起動(予冷)に10分程度の時間が必要となり、その間はLN2の循環が止まることから、運転方法を見直すことになった。最終的には、常時2台の循環ポンプを運転させて、循環ポンプ1台が故障した際にも、もう1台で

LN2の循環が継続されることを確認した。

運転中の循環ポンプ2台の動力を確認した結果、1台のポンプでLN2の所定流量40 L/minが維持されており、もう1台は空回りであることが分かった。また、循環ポンプの前後の配管温度から、空回り状態の循環ポンプは、少量のLN2の逆流により冷却されていることも分かった。さらに、起動タイミングの若干の差や、起動時の温度の違いにより空回りになる循環ポンプが決まること、さらには通常運転している循環ポンプの運転周波数を数Hz下げると空回りしているポンプと切り替わることも確認した。

なお、実証試験と並行して実施したブレイトン冷凍機搭載のLN2冷却システム開発において、2台の循環ポンプやポンプ前後のバルブを全て1つの真空チャンバーに配置し、停止中の循環ポンプが常に冷却される構造(図3)とした結果、停止中の循環ポンプの短時間での起動が可能となり、当初予定していた循環ポンプの交互運転や故障時切換えを実施することが出来た。



図3 ブレイトン冷凍システム循環ポンプユニット

## 2.4 実証試験での冷凍機の運用課題

本システムでは、必要な冷凍能力を確保するために、予備を含めて6台の冷凍機を使用したが、冷凍機6台を接続する配管やバルブの影響により、その内の1台は冷却システムで用いた配管等を冷やすために使用することになった。冷凍機の単機容量を上げて配管やバルブを減らし、シンプルにシステムを組むことは、冷却システムの効率向上や設備・ランニングコスト低減につながるため、システム設計時の重要なポイントと考える。

本プロジェクトでは、高温超電導ケーブルを冷却するために必要な冷却システムの消費電力を冷却システムCOPと定義した。今回は、冷凍機の使用実績を優先したため、効率は不問としたが、高温超電導ケーブルの運用メリットを出すためには冷却システムCOPを0.1にする必要がある。本実証試験の結果、冷却システムCOPは約0.04であり、目標効率の半分程度であることが分

かった。

実証試験開始から3ヶ月後に、冷凍機の冷凍能力の低下が始まり、6台の冷凍機は順次性能低下が見られるようになった。調査の結果、(1)作動ガス(ヘリウム)の真空チャンバーへのリークによる真空度悪化、(2)作動ガスの減少による性能低下、(3)摺動部での磨耗等の機械損失による性能低下、が主な原因であることが分かった。月に1~2回の真空引きとメーカーでの冷凍機のオーバーホールにより、冷凍能力を維持させたが、夏場の使用電力増加や日射の影響による高温超電導ケーブルの負荷増加時には、冷凍能力維持のため、きめ細やかな対応が必要であった。上記(1)~(3)の各作業での冷凍能力増加量を表1に示す。性能向上の効果が最も高いのは(3)の冷凍機のオーバーホールで、頻度が多いのは(1)の真空引き作業であった。

冷凍機の高効率化、高信頼化は、実証試験と並行して実施したブレイトン冷凍機開発において、概ね実現したと考えている。本ブレイトン冷凍機については、別途紹介したい。

表1 冷凍能力維持の方法と効果

内容	平均増加量
真空引き	30~100 W/台
オーバーホール	200 W/台
ヘリウム充填	40 W/台

## 3. おわりに

NEDO「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」の冷却システムの成果と課題の概要を紹介した。循環するLN2の制御方法を構築したことや、冷却システムの運用手順を確立したことは大きな成果と考えている。また、循環ポンプや冷凍機の性能、効率、運用性向上等、将来の高温超電導ケーブル実用化時の重要な課題があることも分かった。

別途紹介するが、実証試験と並行して開発したブレイトン冷凍機は、冷却システムの効率や信頼性を向上させる冷凍機であり、2014年7月からスタートしたNEDO「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」において、長期運転性能を確認した後は、本冷凍機を軸にして冷却システムを構築する予定である。なお、冷凍機と同様に循環ポンプについても、高効率化、高信頼化を目指した開発が今後必要になると思われる。

電力向け高温超電導ケーブルの冷却システムは、基本的な構成は変わらないものの、都心での送電、揚水発電所、長距離送電等、応用先によってシステムや運用方法等が異なるため、ケースに応じた検討や課題整理が必要である。今後は、各応用先での冷却システム

の検討項目や課題について整理し、取りまとめていきたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] T.Masuda, *et al.*, IEEE transactions on Applied Superconductivity, **19** (2009) pp. 1735-17391.
- [2] S.Honjo, *et al.*, IEEE transactions on Applied Superconductivity, **21** (2011) pp. 967-971.
- [3] M.Watanabe, *et al.*, Proceedings of the ICEC23 and ICMC2010 (2010) pp. 1049-1055.
- [4] N. Nakamura, *et al.*, Proceedings of the ICEC24 and ICMC2012 (2012) pp. 693-696.

## <会議報告 1>

### ISS2014 会議報告

#### Report on the ISS2014

#### (1) Physics and Chemistry

(独)産業技術総合研究所

伊豫 彰

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

A. Iyo

(公財)国際超電導産業技術研究センターが主催する第27回国際超電導シンポジウム (ISS2014) が2014年11月27日 (火)～11月29日 (木)の日程で、タワーホール船橋に於いて開催された。主催者によると、17の国々から434名 (日本人312名を含む)が参加したとのことである。本シンポジウムでは、基礎から応用まで4つのカテゴリーに分けられた幅広い研究について発表が行われた。本稿で扱うPhysics and Chemistryの発表件数は、口頭およびポスターでそれぞれでは、36件、82件であった。口頭発表のセッションでは、新物質、鉄系超伝導体、トポロジカル超伝導、磁束ダイナミクス、銅酸化物溶融凝固バルクなどが主なテーマであった。本稿では、新物質や鉄系材料関連の講演を中心に報告を行う。

基調講演に於いて、超伝導物質開発で名高いMaple氏 (カリフォルニア大)は、Heavy fermion系から鉄系超伝導体まで幅広い物質系に関するレビューを行った。伝統的な物質探索指針であったマチアスルールに代わる新しい幾つかの指針を示し、室温超伝導も不可能ではないと述べたことが、同様な研究に携わる者として印象に残った。

新物質をテーマとする口頭発表セッションで、Yajima氏 (東大)は、230 Kで電荷密度波 (CDW)が生じている超価数物質Ba<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Sbにおいて、SbサイトにBiを置換するにつれてCDWが抑制されるとともに、超伝導が発現 (超伝導転移温度(T<sub>c</sub>)はBa<sub>2</sub>Bi<sub>3</sub>で最高4.4 K)することを報告した。Ogino氏 (東大)およびKatayama氏 (名古屋大)は、新しい結晶構造を有する鉄系超伝導体 (Ca, RE) FeAs<sub>2</sub> (REは希土類)に関する発表を行った。この物質は112系と呼ばれ、ブロック層にAsのジグザグチェーンを有することを特徴としている。RE置換とFeやAsサイトへのCoやSb置換を同時に行うことで、T<sub>c</sub>が40 K以上に上昇することが示された。

Matsuishi氏 (東工大)は、水素 (H)を含む新鉄系超伝導母物質CaFeAsHについて、CaサイトにLa/Smをドーピングすることで超伝導化に成功し、T<sub>c</sub>は最高47 Kに達することを示した。なお、結晶構造中のFeAs<sub>4</sub>は正四面

体に近いとのことである。東北大のHatakeda氏およびHosono氏は、FeSe層間に大きな分子をインターカレーションした新物質について報告した。FeSe層間を広げるに従い上昇していた $T_c$ は、広げすぎることによって下降に転じるようである。Kajitani氏(首都大学)は、(Nd, RE)(O,F)BiS<sub>2</sub>(RE = Ce, Sm)について系統的に合成して化学的圧力を変化させた。 $a$ 軸長と $T_c$ および超伝導体積分率の相関について議論した。

鉄系超伝導体をテーマとするセッションに於いて、Maeda氏(東大)は、CaF<sub>2</sub>基板上に、FeSeとFeTeを交互に積層することで、バルクを超える $T_c = 15$  Kを実現することを示した。Tamegai氏(東大)は、(Ba, K)Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>と(Sr, K)Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>単結晶について、臨界電流密度( $J_c$ )のプロトン照射効果を調べた。その結果、照射前はほぼ同等であった $J_c$ が、照射後は(Ba, K)Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>の方が2倍程度高くなることを示した。現在、両物質系が線材に用いられているが、最終的には、(Ba, K)Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>の方が高 $J_c$ になるであろうとのことである。

Adachi氏(阪大)は、AFe<sub>2</sub>(As,P)<sub>2</sub>(A = Ba, Sr, Ca)について、 $T_c$ と組成、構造の関係を詳細に調べ、超伝導が構造異方性 $a/c$ (フェルミ面の形状)よりも、FeAs<sub>4</sub>四面体の形状に強く依存していることを示した。一連の実験から、この系の $T_c$ 決定要因として、フェルミ面のネスティング以外の要素も重要であると主張した。Murai氏(理研)は、デッインしたSrFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>試料を用いて、非弾性中性子散乱を行い、異方的なフォノン分散の観測に始めて成功した。Sun氏(東大)は、Fe(Se,Te)の層間にある過剰Feを、試料を数%の酸素とともに石英管封入してアニールすることにより、効果的に取り除くことに成功した。その結果、従来の相図よりも超伝導領域が広がることを示した。

Ueno氏(理研)は、電気二重層トランジスタを用いたキャリアドーピングによる超伝導誘起について、実例を挙げながら紹介した。さらに、無限層(Sr, La)CuO<sub>2</sub>薄膜(極薄化して非超伝導化してある)の、超伝導化の試みについて述べた。Yamamoto氏(NTT基礎研)は、ノンドーピングで超伝導が発現するT'構造の銅酸化物に関する最新の研究を発表した。東京農大のTekeda氏とIkeda氏から、それぞれ新超伝導物質発見を目指したSrNとLaNiO<sub>2</sub>薄膜に関する発表があった。まだ超伝導化は実現していないものの、この様な挑戦は常に必需だと思った。

今回、初めての試みとして“IEA-HTS-IA and ISS Joint Special Session for Young Generation”と題して、将来のエネルギー問題について、自身の研究や展望を発表するセッションが設けられた。7名の若手による素晴らしいプレゼンテーションであった。来年開催される

ISS2015(11/16~11/18)でも、同様なセッションを企画することである。

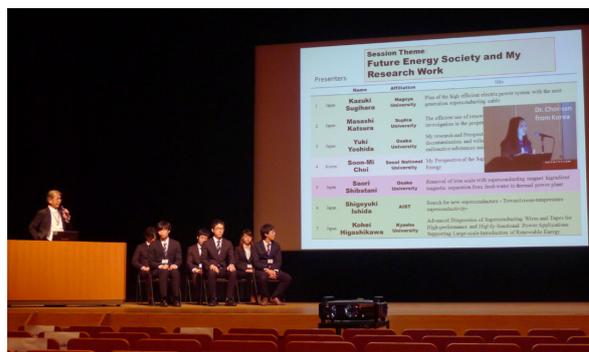


図1 Closing addressで行われた“IEA-HTS-IA and ISS Joint Special Session for Young Generation”の表彰式の様子。Winner of AwardはShibatani氏(阪大)に贈られた。

## ISS2014 会議報告

### Report on the ISS2014

#### (2) Wire & Tapes, Large Scale System Applications

昭和電線ケーブルシステム株式会社

小泉 勉

SWCC Showa Cable Systems Co., Ltd.

T. Koizumi

国際超電導シンポジウム(ISS2014)が、2013年11月25日~27日の3日間にわたり、タワーホール船堀(東京都江戸川区)において開催された。今回のシンポジウムは、去る9月、当協会に縁の深い北澤宏一先生が急逝されたことで、メモリアル講演が行われた。参加者は、17各国総勢434名の参加者を集め、口頭講演120件、ポスター講演237件の合計392件であった。以下、Wire & Tapes及びLarge Scale System Applicationsのセッションにおいて印象に残った講演について記述する。

九州大学のKissは、SHPM(Scanning Hall Probe Microscopy)法を用いた線材評価技術について報告した。これまでもSHPM法による、線材特性の分布評価が進められていたが、SHPM装置の改良により、5 Tまでの磁場で評価が可能となり、線材全長に亘って磁場中特性評価が可能となったことが報告された。また、得られた結果を統計処理することにより、線材 $I_c$ 分布の均一性の予測も可能となると報告された。SHPM法の進展により、局所的な線材 $I_c$ 分布が明らかになることで、線材の実用化の課題の一つである品質向上に大いに貢献される技術であるため、さらなる進展が期待される。

ISTECのIzumiは、RE系超電導線材の医療応用プロジェクトについて報告した。本プロジェクトは、三菱電機、東芝、産業用超電導線材・機器技術研究組合が参画し、RE系超電導線材を用いた医療機器を開発することである。具体的には、3T-MRI、10T-MRI、医療用加速器及びガントリーであり、チャレンジングな目標が設定されており、今後の展開が期待される。

NexansのSchmidtらにより、ドイツのEssenで2011年9月から行われている超電導ケーブルAmpaCity実証プロジェクトの進捗について報告された。超電導ケーブルは中間接続を含んだ1 km長であり、事故対策として限流器を併設したシステムとなっている。また、ケーブル構造は、国内ではまだ例を見ない三相同軸形状が採用されており、ケーブルの容量は10 kV – 40 MVAである。また、冷却に用いる液体窒素は、導体の中心に配置されているコルゲート管から導入され、真空断熱二重管と導体の間を戻す形と採っており、冷凍機を使用せずに、安価なサブクーラーを用いたシステムが採用されている。本ケーブルは、2013年11月に型式試験を実施し合格したとのことであった。報告の中で、実線路への敷設状況の詳細が紹介され、常電導ケーブルの敷設方法と変わらないという印象を受けた。また、本ケーブルは低圧ケーブルに分類され、超電導の利点が活かされたケーブルであることから、今後の進展に注目していきたい。

昭和電線のKoizumiらにより、TFA-MOD線材の開発状況について報告された。本線材に人工ピン止点を導入することに成功したことで、非常にコンパクトな超電導電流リードの商品化に成功したとのことであった。また、基板の開発にも成功し、今後は線材の量産化、超電導ケーブルなどの応用機器への展開を図るとのことであった。

SuperPowerのSakamotoらは、CVD線材の開発状況について報告した。これまで開発を行っていた、人工ピン止点の導入に関し、長尺化に成功し、130 m長の線材において、 $I_c=1100$  A (@30 K, 3 T)という特性が得られ、安定して本特性が得られるとのことで、既に商品化され、販売中であるとのことであった。

フジクラのIijimaらはPLD線材の開発状況について報告した。標準品として製造した300-500 m長線材約130本について、 $I_c$ の均一性評価を行い、ロット間においては±10%、同一ロットでは1~5%と均一性の高い線材が製造されたいとのことであった。また、同社のIgarashiらは新形状の線材について報告した。これまで、安定化材は超電導テープに銅テープを貼合せる手法を採用してきたが、線材横断面方向に一周銅テープを被せる方式とし、使用環境による劣化の抑制や機械特性の向上に成功し、来年度初めから販売を行う予定であるとのこ

とであった。

SuperOxのPetrykinらはPLD線材の開発状況について報告した。SuperOXは神奈川県相模原市を拠点としており、昨年、総長20 kmの線材を納入したとのことであった。開発の進捗としては、350 m長線材において、500 A/cm幅が得られているとのことであった。

## ISS2014 会議報告

### Report on the ISS2014

#### (3) Films, Junctions and Electronic Devices

産業技術総合研究所

日高 睦夫

National Institute of Advanced Industrial Science and

Technology

M. Hidaka

「Films & Junctions/Electronics Devices」セッションではOral 18件、Poster 31件合わせて49件の発表があった。カテゴリ別では、薄膜が15件、SQUIDが14件、デジタルが9件、標準が4件、マイクロ波3件、接合と検出器が2件ずつであった。

デジタルでは、単一磁束量子(SFQ)回路の低消費電力化、超伝導集積回路と磁性膜のハイブリッド、超伝導検出器の読み出し/信号処理へのSFQ回路適用が最近の研究トレンドとなっている。横国大の山梨は、各種低消費電力SFQ回路の紹介と現状を報告した。これらの手法を用いることでSFQ回路の消費電力を1/10以下に低減できることを示した。名大の黒川は、磁束量子パラメトロン(QFP)回路の超伝導リング近傍に磁性膜からなる位相シフターを設けることで、オフセット電流を0.3 mA低減することに成功した。磁性膜を用いて超伝導デジタル回路の特性が実際にコントロールできることを示した最初の試みであり、今後の展開が期待される。横国大の佐野は、SFQ回路で作製した時間/デジタル変換器(TDC)を質量分析器に用いる超伝導ナノワイヤ検出器(SNSPD)の読み出し回路として使用する研究について発表した。これまでに別々の冷凍機で冷却されたSFQ-TDCとSNSPDをつないで、SNSPD信号のSFQ-TDCによる処理が可能なのは示されていたが、信号を一旦室温に取り出す必要から、半導体TDCを用いたものとの性能の差別化は示されていなかった。今回同一冷凍機内ですなげ動作させる実験に成功したことが報告されたことから、今後SFQ-TDCを用いることの優位性が示されていくものと期待される。

SQUIDでは、SIMITのZhangがPractical SQUIDのコ

ンセプトを紹介した。これはSQUIDだけでなく室温エレクトロニクスも含めて、使いやすく安定で信頼性の高い実用上有意義なSQUIDシステムを目指すものである。一例として、 $\beta_c > 1$ の弱ダンピングSQUID、並列接続バイポーラプリアンプ(PCBA)、カレントフィードバック回路(CFC)の組み合わせが示された。ISTECの波頭は、開発中のSQUID地下資源探索システムと石油モニタリングシステムについて報告した。SQUID地下資源探索システムは、従来の誘導コイルを用いた方法の限界750 mをはるかに超える地下1200 mまで探索可能である。石油モニタリングシステムは、SQUIDを用いて地中のCO<sub>2</sub>拡散を観測するものであるが、地下3000 mに達する直径4インチのパイプの中で70 MPa、250°Cの環境下でSQUIDを動作させるためのパッケージ開発が鍵とのものであった。産総研の前澤は、グラディオメータのピックアップコイルとSQUIDを超伝導集積回路プロセスを用いて1チップ化した結果を報告した。集積回路プロセスを用いることで高性能SQUIDを信頼性高く作製することができるが、寸法の大きなピックアップコイル作製には集積回路プロセスは対応していない。そこで産総研でSQUIDを作製した後、共同研究先のSIMITに持ち込みSIMITのマスクライナーを用いてピックアップ部分の作製を行った。この方法で3インチ基板上に5個のグラディオメータを作製し、その動作確認を行った。

薄膜では、電中研の一瀬が鉄系薄膜と基板材料界面の透過電子顕微鏡(TEM)観察結果を報告した。基板によっては薄膜との界面で相互拡散が観察されるものがあり、相互拡散が大きいほど薄膜の超伝導特性が劣化するという結果が得られた。この観点からCaF<sub>2</sub>がベストの基板であった。また、CaF<sub>2</sub>基板と3種類の薄膜との界面観察から、SmFeAsOが歪み効果によって最も優れた組み合わせになっていることが示された。名大の畑野は、MBEによるCa122の結晶成長を行い、その結果の相図へのマッピングを行った。接合ではAalto大のPekolaがNISトンネル接合について報告した。NIS接合のトンネル特性はPhoton assisted tunnelingによって大きな影響を受けており、Photonをシールドすることにより、サブギャップ電流を大幅に低減できることを示した。NIS接合は1 K以下の極低温温度計や電子冷却などの興味深い応用展開が期待できることが示された。

産総研の丸山は、10 Vまでの任意の波形が生成できるプログラマブルジョセフソン電圧標準(PJVS)を使ったZener電圧標準の校正結果と高精度デジタル電圧計(DVM)の線形性を評価した結果を報告した。PJVSは電圧の国家標準採用を目指して研究が行われており、今回の成果により国家標準採用に向けて着実に前進していることが実感された。彼らのグループは、ポスターで

PJVSの冷凍機実装についての発表も行っており、使いやすいシステムを指向している。

豊橋技科大の有吉は、テラヘルツイメージングに用いるNbNカイネティックインダクタンス検出器(MKID)についての報告を行った。MKIDは入出力の周波数多重化が容易なため、1本の入出力線で多数のデバイスを動作させることができるが、0.1 K近傍の極低温が必要なことと、1/4波長の長さの超伝導線が必要なため面積が大きくなるという問題点があった。有吉らは超伝導線の材料にNbNを用いることで3.2 K動作を可能とし、また超伝導線を渦巻き状に折りたたむことによって小面積化が可能であることを示した。現在5×5のアレイを作製して評価を行っている。

## <会議報告 2>

### CCA2014 会議報告

#### Report on CCA 2014

産業用超電導線材・機器技術研究組合  
(公財)国際超電導産業技術研究センター

和泉 輝郎

Industrial Superconductivity Technology Research Association

International Superconductivity Technology Center

T. Izumi

本会議は、2000年に独で開催されて以来13回目の会議になる。CCAとは、Coated Conductor for Applicationsの略であり、RE系超電導線材とその応用に関わる研究者が一堂に会して議論を行うことを特徴とした会議である。これまで、欧州、アジア、米国の持ち回りで開催してきており、今回は韓国で行われた。参加者は、総数で148名であり、従来、100名前後の参加者であることを考えると多数の参加者であるといえる。以下には主な内容をまとめる。

Plenary Lectureでは、Florida State Univ. のDr. Pamidiが米国プロジェクトの動向を概説した。その中での新情報として、amsc社がFCLケーブルで2014年からシカゴでグリッド試験を始めているとのことであった。また、筆者が世界のY系線材開発の開発状況のReviewを行った。この中では、長尺線材開発での新興勢力としてSuperOX、上海交通大学が注目すべきこと、磁場中特性向上ではISTECのEuBCO+BHOとHouston Univ.の高濃度Zrが注目すべきことを紹介した。また、細線化技術では、日本が先行して長尺まで成功していることを紹介した。

応用に関する発表としては、KEPCOのDr. Kimは韓

国の限流器に関する報告を行い、Inchonに設置している限流器の運転試験の状況を説明した。規模は、22.9 kVの系統試験で1年半の連続運転を行っているが、バイファイラー巻による低ロス化で液体窒素の供給は行っていないとのことであった。LS-CableのDr. Ryuは韓国でのHTSケーブルのReviewを行った。また、KEPCOのDr. Hwangは、その中の一つであるDC80 kVの開発状況を説明した。韓国ケーブルPJは2011-14にInchonで行った、AC22.9 kV/120 kVA 100 mのフィールドテストを経て、2011-15のDC80 kV 500 MVA 500 mと2014-17 AC154 kV 600 MVA 1 kmのテストを済州島で実施中である。DC80 kVについては既にインストールが終了し運転を始めているとのことであった。来年には、AC154 kV-1 kmも完成し、世界で最大のテスト施設になると紹介していた。次に、韓国のChangwon大学のDr. Parkは、12 MWの風力発電のデザインに関する説明を行った。注目すべきは、3週間前に新たな国家プロジェクトが立ち上がった点である。彼らのターゲットは、12 MWを対象として、軽量化を目的とした開発を行う。このプロジェクトの流れとしては、2015-17年にデザイン研究開発、2018-20年に3 MW風力発電機試作を経て、2021-25年に3 MW風力発電機テスト及び12 MW試作を行うものであった。ここでは、経済性の検討も行っており、やはり線材価格が問題であり、\$5/m/100 A@20 K、7-8 Tになるとのことで、これにより、\$20 Mで12 MWの風車ができることになり、成立性が高まるとのことであった。

RE系超電導線材の開発に関するセッションも数多く行われた。磁場中特性向上技術に関するセッションでは、日本からISTEC(吉積氏)、九工大(松本氏)広島大(Mele氏)など多くの報告がなされた。このセッションでの特筆すべき報告はBrookhaven NLのDr. Liから紹介されたMOD膜へのピン制御による磁場中特性向上技術である。重粒子線照射によって超電導膜内に欠陥を導入し磁場中特性を向上させる手法を具体的に紹介していた。様々な粒子の照射を試験し、3 MeVでAu<sup>4+</sup>の照射が効果的であり、長尺線材への適用も可能であるとのことであった。また、Long CC Processingのセッションでは、5つのメーカーからの発表と、コスト分析やユーザーからの要望などが報告された。まず、iBeam社のDr. Matiasは、挑戦的なコストターゲットとして\$5/kAmの実現性解析結果を紹介した。

ここでは、これまでのコスト低減を技術向上に基づいた推測として2015-2030年に達成する見込みとのことであった。この低コスト実現には、高歩留り、スケールアップに加えて高特性化が必要であり、更なる必要条件として市場が拓け、大量の需要が必要であるとのことであった。また、SiemensのDr. Arndtは、様々な応用に関して必要事項を整理して、最終的に応用サイドから今線材に求める事項として、依然として高I<sub>c</sub>特性であり、指標としてkA級が必要であった。

線材メーカーからの発表としては、しばらく線材開発から遠ざかっていたTHEVA社が再び戻ってきており、生産ラインを導入し、来年1月からの稼働を計画しているとのことであった。SuNAM社のDr. Moonは、同社のプロセスの安定化技術として生産ラインの“Vision Inspection System”を紹介し、これによって安定した特性が得られるようになり歩留りが向上した。現在は、300 m/day (60 km/year)の生産能力で歩留まりは70%まで向上したとのことであった。このセッションで最も注目すべき発表は、Houston Univ.のDr. Selvamanickmからのもので、高濃度Zr添加に関して、これまでの15%から25%まで向上させ、更なる磁場中特性の向上に成功したとのことであった。代表値としては、I<sub>c</sub>(min.) = 1700 A/12 mmw @30 K、3 Tである。また、厚膜化も試みており、2.2 μmの膜に20%のZrを添加し、I<sub>c</sub>(min.) = 2742 A/cm w @30 K、3 Tを得たとのことである。この値は、ISTECのEuBCO+BHOの2730 A/cm wとほぼ同等であり、短尺では同レベルの技術といえる。

加えて、2日目の夜には、線材と応用でのコンセンサスをとることを目的としたランプセッションが行われた。特筆すべきは、Dr. Larbalestierが主に低温特性に注目していたのに対し、初めて液体窒素温度での利用を提案し、そこで必要な線材特性の提示をしたことである。代表値としては、J<sub>c</sub> ≥ 1000 A/mm<sup>2</sup>@65-77 K、5-15 Tである。

学会の最後には、Chairmanの一人であるDr. Ohから次回は米国で開催される予定であることが紹介され、閉幕した。



## <研究室紹介>

### (1) 京都大学 大学院エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻 Department of Energy Science & Technology, Graduate School of Energy Science, Kyoto University

#### 1. 研究室スタッフ

白井康之(教授) 廣岡良隆(技術専門職員) 大学院生(11名) 学部生(3名)

#### 2. 研究室概要

エネルギー問題は地球規模での喫緊のものであり、その解決に向けて我々の研究科では、エネルギー政策・経済から自然エネルギー・核融合・材料など幅広い研究領域が融合し新たな展開を進めています。その中で、当研究室では電力システム・エネルギー機器という電気工学の観点を中心に、別の分野の研究にも触れながらより高い視点からエネルギー問題を見ることを目指しています。主な研究テーマは、超伝導現象のエネルギー応用に関する研究、環境調和型電力インフラに関する研究、先進的エネルギー輸送や貯蔵に関連する熱流体力学諸問題です。

#### 3. 主な研究テーマ

##### 3.1 超伝導現象のエネルギー応用に関する研究

超伝導現象は、各方面 特にエネルギー機器にその応用が期待され、現在各種マグネット、超伝導電力機器(発電機、エネルギー貯蔵、限流器)、核融合用マグネット、磁気浮上列車等の開発研究が進められている。本研究室においても、東京大学、住友電工、三菱電機、TMEIC、核融合科学研究所(NIFS)、日本原子力研究開発機構(JAEA)、宇宙航空開発研究機構(JAXA)などと共同で以下の研究を行っている。

**3.1.1 超伝導故障電流限流器に関する研究:** 超伝導線材の相転移を用いた故障電流限流器の設計と特性に関する研究。モデル限流器を製作し(図1)、模擬電力系統(20 kVA/220 V)を用いた限流特性実験を実施し、限流から有負荷での待機状態への復帰や系統安定度向上効果を検証している。[1] (共同研究: 東京大学、住友電工)

**3.1.2 液体窒素・水素冷却における高温超伝導材料の特性:** 液体水素および窒素で冷却した超伝導材料の特性を評価し、冷却安定性、設計指針について実験的・解析的検討。図2に示す液体水素冷却超伝導材料の磁場下(~7 T)での通電特性試験を行える実験装置を製作し、MgB<sub>2</sub>線材などの特性評価を実施している[2] (科学技術振興機構JST-ALCA)

**3.1.3 高温超伝導を用いた MRI 装置に関する研究:** 伝導冷却高温超伝導線材を用いた MRI マグネットの磁場安定性に関する



図1 高温超伝導限流器

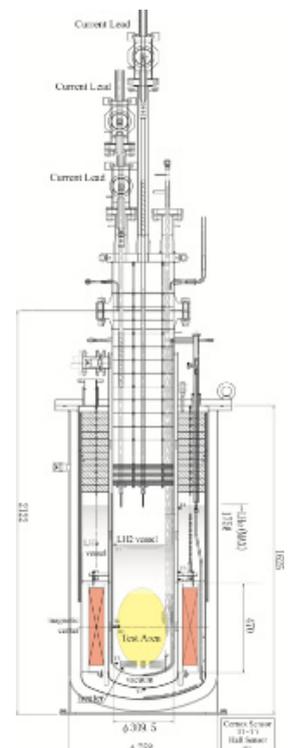


図3 伝導冷却超伝導材料通電特性測定装置

図2 液体水素冷却超伝導線材磁場下特性測定装置

る研究(図3)。Y系線材は、医療用MRIの永久電流モードでは、磁場の安定性が悪くイメージングに適さないため、励磁電源から常時電流を供給することとし、電源の安定度がイメージングシステムに与える影響を評価し、遮蔽電流(超電導線の磁化)がマグネットの空間磁場均一度に与える影響を考慮した励磁システムの検討を行う。(経産省プロジェクト:三菱電機)

**3.1.4 超流動ヘリウム冷却超電導マグネットの安定性:** 超流動ヘリウムで冷却した超電導導体の冷却安定性、設計指針について実験的・解析的検討。(共同研究:NIFS)

## 3.2 環境調和型電力インフラに関する研究

地球温暖化問題や電力事業の自由化に伴い、成熟しているといわれる現在の電力エネルギーインフラは変革を求められている。太陽光・風力・潮力など再生可能エネルギー源や燃料電池、マイクロガスタービンなどが需要地側の系統に導入され、能動的な負荷やエネルギー貯蔵・制御機器が連系されるであろう将来のシステムに対して、模擬電力系統(図4:模擬発電機3台、太陽光発電システムPCS、バッテリーシステム、力率可変負荷装置、模擬SMESなど)を用いて、東京大学、関西電力、TMEICなどと共同で以下の研究を行っている。

**3.2.1 分散電源や能動的負荷の導入された負荷電力系統の動特性評価に関する研究:** 分散電源や能動的負荷を含む負荷系統の総合的な動特性を系統的に同定・評価する。[3]

**3.2.2 太陽光・風力・潮力など再生可能エネルギー源の系統導入、分散電源とエネルギー貯蔵装置の協調運転制御などに関する研究**

**3.2.3 洋上風力・潮力ハイブリッド発電システム:** 洋上風力発電の出力変動抑制を考慮した潮力発電とのハイブリッド発電システムの提案と系統特性の評価[4](図5)。



図4 模擬電力系統試験装置(6kVA/220V/3300V送電線模擬)



図5 洋上風力潮力ハイブリッド発電システム

## 3.3 先進的エネルギー輸送や貯蔵に関連する熱流体力学諸問題

核融合炉用あるいはエネルギー貯蔵用大型超伝導マグネットの設計やその安定性解析の基盤となる超流動状態を含む極低温液体ヘリウム、液体水素、液体窒素等における定常・非定常冷却現象の解明を行っている。核融合科学研究所(NIFS)、日本原子力研究開発機構(JAEA)、宇宙航空開発研究機構(JAXA)などと共同研究を進めている。

**3.3.1 超流動液体ヘリウムにおける定常・非定常熱伝達と臨界熱流束:** 優れた冷却特性を持つ超流動液体ヘリウムによる大型超伝導マグネットの高安定化を目指した冷却設計のデータベース確立を目指す。(共同研究:NIFS)

**3.3.2 液体水素における定常・非定常熱伝達と臨界熱流束:** 液体水素はエネルギー貯蔵機能とともに、超電導材料の冷媒としても優れた特性を持つ。液体水素冷却超伝導機器を目指した冷却設計のデータベース確立を目指す。[5](JST-ALCA)



図6 加圧超流動ヘリウム実験槽



図7 液体水素熱伝達特性試験用強制対流循環装置

#### 4. 発表論文

- [1] Yasuyuki Shirai, *et al.*, Physica C **484** (2013) 248, doi: 10.1016/j.physc.2012.03.039.  
 [2] Yasuyuki Shirai, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond. **23** (2013) 9500404, doi:10.1109/TASC.2012.2234820.  
 [3] Y. Shirai, *et al.*, Int. J. of Elec. Power & Energy Systems, **42** (2012) 473, doi:10.1016/j.ijepes.2012.03.052.  
 [4] Rahman, M.L., *et al.*, IEEE Trans. Sustain. Energy. **1** (2010) 92, doi: 10.1109/TSTE.2010.2050347.  
 [5] H. Tatsumoto, *et al.*, Adv. in Cryogenic Eng., AIP Conf. Proc. **1573** (2014) 44, doi: 10.1063/1.4860681.

#### 5. 連絡先、ホームページアドレス等

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院エネルギー科学研究科 白井康之  
 E-mail: [shirai@energy.kyoto-u.ac.jp](mailto:shirai@energy.kyoto-u.ac.jp)、<http://www.pe.energy.kyoto-u.ac.jp>

## (2) 京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 固体電子物性研究室 Laboratory for Electronic Properties of Solids, Department of Physics, Kyoto University

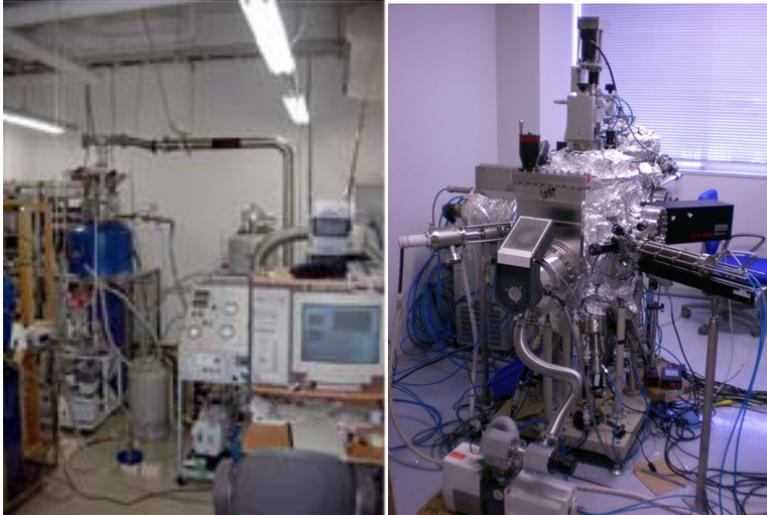
#### (1) 研究室スタッフ(2014年12月現在)

教授: 松田 祐司、准教授: 笠原 裕一、助教: 笠原 成

#### (2) 研究の概略

お互いに強く相互作用する膨大な数の電子やスピンは、量子凝縮状態として様々な興味ある現象を引き起こします。そのような量子凝縮現象は固体物理だけの問題に留まらず、冷却原子や原子核物理学などの他分野とも関連した現代物理学の基本的問題とも密接な関係を持っています。我々の研究室では、特に量子凝縮状態を特徴づける対称性の破れに着目した研究を行っており、主として以下の課題を推進しています。

- 非従来型超伝導体の超伝導対称性および発現機構の解明
- 量子臨界現象の物理
- 重い電子系化合物の人工超格子による自然界に存在しない物質および超伝導状態の創製
- 固体中の電子を舞台とした BEC-BCS クロスオーバーの物理
- 量子スピン凝縮状態の示す輸送現象



(左) 希釈冷凍機を用いた電子輸送測定システム、(右) 分子線エピタキシー装置

### (3) 特色ある装置

極低温・強磁場における電子輸送測定(写真参照)および熱電係数測定、走査型トンネル顕微鏡測定など、さまざまな巨視的・微視的手法を用いて電子状態を明らかにします。他にも超純良単結晶の開発も行っています。他に例のない装置として、希土類元素を含む金属間化合物である重い電子系化合物の薄膜を作製できる分子線エピタキシー装置(写真参照)があり、原子レベルで平坦な界面をもつ人工超格子を作製することができます。

### (4) これまでの成果、研究トピックス

極低温における輸送現象や熱力学測定などにより、様々な非従来型超伝導体、主に重い電子系超伝導体や鉄系超伝導体の超伝導状態や量子スピン系の研究を行ってきました。重い電子系化合物や鉄系超伝導体では、固体中の電子が回転対称性を破った電子ネマティック状態が現れることを明らかにしました[1-3]。鉄系超伝導体において量子臨界点の存在を明らかにしましたが[4]、重い電子系化合物の人工超格子では量子臨界性を物質の次元性によって制御できること[5]および量子臨界点近傍の量子揺らぎにより二次元超伝導が現れることを初めて示しました[6]。また有機化合物で実現する量子スピン液体状態において、ギャップのない新しい量子状態が出現していることも明らかにしました[7][8]。さらに最近では、これまで冷却原子で活発に議論されてきたBEC-BCSクロスオーバーが固体物質でも現れることを発見しました[9]。またトポロジーに関係した超伝導ゆらぎによる巨大な熱磁気効果が、重い電子系化合物において現れることを発見しました[10]。詳しくはホームページをご参照ください。

### (5) 連絡先、ホームページアドレス

〒606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町  
 京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一教室  
 松田 祐司  
 Email: matsuda@scphys.kyoto-u.ac.jp  
 URL: <http://kotai2.scphys.kyoto-u.ac.jp/index.php>

- [1] R. Okazaki *et al.*, *Science* **331**, 439 (2011).
- [2] S. Kasahara *et al.*, *Nature* **486**, 382 (2012).
- [3] H. Ikeda *et al.*, *Nature Physics* **8**, 528-533 (2012).
- [4] K. Hashimoto *et al.*, *Science* **336**, 1554 (2012).
- [5] H. Shishido *et al.*, *Science* **327**, 980 (2010).
- [6] Y. Mizukami *et al.*, *Nature Phys.* **7**, 849 (2011).
- [7] M. Yamashita *et al.*, *Nature Phys.* **5**, 44 (2009).

- [8] M. Yamashita *et al.*, Science **328**, 1246 (2010).  
[9] S. Kasahara *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **111**, 16309 (2014).  
[10] T. Yamashita *et al.*, Nature Phys. **11**, 17 (2014), doi:10.1038/nphys3170.

---

**(3)岡山大学 大学院自然科学研究科 産業創成工学専攻 金研究室**  
**Okayama University, Graduate School of Natural Science and Technology, Department of**  
**Electrical and Communication Engineering, Kim Laboratory**

---

(1)研究室スタッフ

金 錫範教授, 学生 23 名 (M2: 8 名、M1: 8 名、B4: 7 名)

(2)研究室の簡単な紹介

岡山大学の超電導応用研究室は、故村瀬先生が2001年に東北大学から岡山大学に赴任してから始まっており、初期の頃にはNb<sub>3</sub>Al線材の安定性問題やBi系高温超電導線材の交流損失などの研究が行われました。その後、2003年にソウル大学から金助教授が赴任してからは超電導アクチュエータなど超電導応用機器の開発も行われるようになりました。村瀬先生の定年退職と学科再編などを経て、現在は金教授と20名を越える学生たちが次世代高温超電導線材で構成される超電導回転機やNMR/MRI用マグネットの開発を行うと同時に、高温超電導バルク体を用いるNMR Relaxometry装置や非接触回転機器など主に超電導応用機器開発に関する研究を幅広く行っています。

(3)特徴ある装置

テープ状の次世代高温超電導線材を回転機などへ応用する際には、使用線材の臨界電流密度の磁場強度と角度および温度依存性について正確に把握する必要があります。また、高温超電導バルク体によるNMR Relaxometry装置などでは、バルク体に磁場を捕捉させるための超電導マグネットが必要となります。当研究室では、室温ポアの内径が100 mmで最大10 Tの磁場印加が可能な超電導マグネットを現有しており、試料ステージ温度を4 Kまで調節できるL字型伝導冷却装置を製作し、図1のように90度傾けた超電導マグネットに様々な形状の試料を取り付けた試料ステージ部を挿入して次世代高温超電導線材の臨界特性や小型試験コイルのクエンチ試験、そして高温超電導バルク体の着磁実験などを行っております。そして、3次元超電導アクチュエータの駆動用の電源や3次元磁場分布を自動で測定するための高性能x-y-zステージなど研究に必要なハードとソフト装置を学生たちが自作することでエンジニアとして必要な知識と経験などを培っております。



図1 10 T級超電導マグネットと4 K級L字型伝導冷却試験装置

(4)これまでの成果・最近のトピックス

当初はMagnetic Drug Delivery System (MDDS) 用として研究を始めた3次元超電導アクチュエータは、途中から空間的に隔てた環境における遠隔操作が可能な運搬用のアクチュエータとして研究開発を行っています。開発する超電導アクチュエータは、移動子である高温超電導バルク体と固定子である平面配列された電磁石群で構成されており、固定子から3次元的な磁場分布を発生させ、特定の磁場分布が捕捉されている移動子を鉛直方向・水平方向へ移動及び回転を可能としています。現在は、床走行に加え、壁走行と床走行から壁走行への動

作特性について検討しています。

核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance : NMR)分光法はタンパク質の機能・構造解析に有効なツールとして注目され、装置の性能向上が進められており、装置の高磁場化が進められる一方で装置の大型化、高コスト化により個人が手軽に使用できる装置とは言えないのが現状であります。そこで、NMR装置の小型化、低コスト化を目的として液体窒素運転のNMR Relaxometry装置の開発を目指した研究を行なっています。開発するNMR Relaxometry装置の磁場強度は1.5 T (64 MHz)であり、磁場の空間均一度は150 ppm/cm<sup>3</sup>です。このNMR Relaxometry装置用のマグネットとして2種類のマグネットを開発中です。

一つ目は、リング形状の高温超電導バルク体を積層したマグネットであり、液体窒素温度で1.5 Tの磁場強度は容易に得られるものの、150 ppm/cm<sup>3</sup>の磁場均一度を実現させるために様々な工夫を行い、数値解析では目標値を達成しまして、実証実験の段階にきております。二つ目は、新しく開発された超電導接合技術を用いた次世代高温超電導線材による永久電流モードのNMR Relaxometry用マグネットであり、超電導接合部の超電導特性評価とマグネットの最適設計および試験コイルによる検討などを行っています。

その他、風力発電機や大型船舶用の超電導回転機に使用される高温超電導マグネットの過渡安定性向上と小型化のための新しい概念のマグネットや半導体用のSpin Coaterや製薬用のMixerとして用いるための非接触型回転機を開発しており、最近はMDDSやMagnetic Targeting Systemに適用するための磁場のON/OFFスイッチングと磁場増幅が可能な装置の開発を行っています。

#### (5)連絡先・ホームページアドレス等

〒700-8530岡山県岡山市北区津島中3-1-1

岡山大学 大学院自然科学研究科 産業創成工学専攻 金 錫範

Tel & Fax: 086-251-8116 & 086-251-8110

Email: kim@ec.okayama-u.ac.jp

<http://www.ase.ec.okayama-u.ac.jp/>

---

#### (4)慶應義塾大学

大学院 理工学研究科 総合デザイン工学専攻 / 理工学部 機械工学科

機械力学研究室

Dynamics Laboratory, School of Integrated Design Engineering, Graduate School of Science and Technology / Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University

---

#### (1)研究室構成(2014年12月現在)

教授:杉浦 壽彦 大学院生:12名 学部生:6名

#### (2)研究室の概要

本研究室では、機械システムに発生する振動現象を研究対象としており、最新の解析手法や数値計算技術および実験によって、電磁力や流体力などによって生じる複雑な非線形振動現象の解明に取り組んでいます。現在の主な研究テーマは、超電導磁気浮上系のダイナミクス、超音波による構造物非破壊評価、超音波照射下におけるマイクロバブルのダイナミクスです。

このうち、超電導磁気浮上系の研究では、高温超電導磁気浮上系の応用として期待される磁気浮上搬送システムや電力貯蔵用フライホイールシステムをモデルとして、それらの系に発生する非線形振動現象に関する研究を行っています。高温超電導磁気浮上系は、非接触かつ非制御で安定に浮上が得られるため、種々の機器への応用が期待されている一方、非接触で低減衰系のため、電磁力の非線形性の影響が現れやすく、線形の範囲では予測し得ない挙動、たとえば内部共振や分数調波共振などを示し得ます。前者は複数モードの固有振動数間に、後者は加振振動数と固有振動数の間に整数比の関係があり、かつそれに見合う非線形項がある場合に共振

する現象です。この他にも、多自由度連成による種々の非線形振動現象が生じ得ます。これらの非線形振動現象の発生は、超電導磁気浮上実用化の際に、予期せぬ振動による破壊事故や騒音問題発生の可能性を示唆しています。一方で、この非線形性を利用した振動低減の可能性もあります。よって、このような問題の予測、防止のために、非線形の動力的特性の評価が重要となります。以下では、高温超電導体によって磁気支持された物体の非線形共振やその振動低減に関する二つの研究例を紹介します。

### (3) 主な研究テーマ

#### 1. 磁気浮上系の振動振幅低減

本研究室では、超電導磁気浮上系の非線形振動を抑える手法を提案してきました。近年では電磁シャントダンパという機構に注目しています。振動を抑える手段として動吸振器がよく知られていますが、この動吸振器を電気回路に置き換えることで、超電導磁気浮上系の非線形振動を非接触で抑えることができるというのがこの機構の特徴です。非常に簡単な構造で高い制振効果が得られますが、最適なパラメータ選定には検討の余地があり、装置の幾何学的な非線形性を利用した最適化等の検討を現在行っています。多重時間尺度法による非線形解析に基づく設計を行い、解析と数値計算および加振器による振動実験を行って比較検討しながら、振動抑制の検証を進めています。

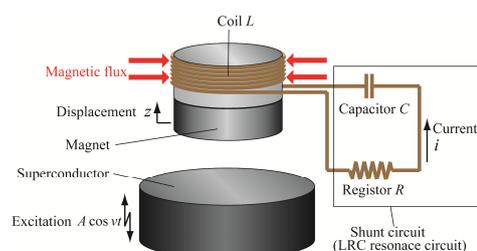


図1 電磁シャントダンパを利用した超電導磁気浮上系の振動抑制

#### 2. 回転体に発生する非線形振動

磁石を非接触・非制御で安定浮上させることができる高温超電導磁気浮上系を軸受として使用したものが超電導磁気軸受です。超電導磁気軸受は、油による潤滑の必要がないため特殊環境下での利用が期待されていますが、その応用のためには超電導に起因する電磁力の非線形性からくる複雑な非線形振動の解析が不可欠です。本研究室では、回転体中の永久磁石の磁化分布が周方向の一様性を失うという点に着目し、その非一様性が回転体の動力的挙動に与える影響、特に非線形振動現象発生への影響について研究を行っています。調和バランス法を用いた非線形解析、ダイナミクスの数値計算および超電導磁気支持型回転装置を用いた実験から、主共振のほかに、2種類の異なる分数調波共振という非線形振動が発生しうることを確かめ、どのような条件のときにどの分数調波共振が発生するかを明らかにしました。



図2 超電導磁気支持型回転装置

### (4) 連絡先

〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

慶應義塾大学 大学院理工学研究科 総合デザイン工学専攻／理工学部 機械工学科  
教授 杉浦 壽彦

E-mail: [sugiura@mech.keio.ac.jp](mailto:sugiura@mech.keio.ac.jp)

ホームページ: <http://www.dynamics.mech.keio.ac.jp/>

YouTube: [http://youtu.be/ldBS3N\\_99Do](http://youtu.be/ldBS3N_99Do), <http://youtu.be/ocvAWY303EM>

## 第2回超伝導科学技術セミナー ～ 若手技術者向け講習会 ～

主催：一般社団法人 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

協賛：一般財団法人 新技術振興渡辺記念会

日時：平成27年2月20日（金）～平成27年2月21日（土）

場所：古河電工健康保険組合 鬼怒川荘

（栃木県日光市鬼怒川温泉大原 1060-71 TEL 0288-77-0117）

定員：30名

参加費：会員／一般：一律 20,000円、学生：10,000円（資料代等を含む）

申込方法：HPよりお申込み・お問合せ下さい。

<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20150220.html> Email: [fsst@sntt.or.jp](mailto:fsst@sntt.or.jp)

### <プログラム案>

2月20日（金）

- 14:00-14:10 開講式木村 茂行（未踏科学技術協会）
- 14:10-15:40 参加者自己紹介（\*1人3分程度で自身の研究テーマ等を紹介）
- 15:40-15:50 <休憩>
- 15:50-16:50 「超伝導の基礎（仮）」 下山 淳一（東京大学）
- 16:50-17:50 「超伝導物質（仮）」 伊豫 彰（産業技術総合研究所）
- 17:50-18:00 <休憩>
- 18:00-19:00 特別講義「若手研究者への期待」上岡 泰晴（コールドテック）
- 19:00-20:20 ≪夕食・交流会（情報交換、意見交換）≫
- 20:20-21:00 <休憩>
- 21:00- ≪交流会（情報交換、意見交換）≫

2月21日（土）

- 7:30- 8:30 ≪朝食、休憩≫
- 8:30- 9:30 「超伝導材料（仮）」 熊倉 浩明（物質・材料研究機構）
- 9:30- 10:00 「冷却技術（仮）」 戸坂 泰造（東芝）
- 10:00-10:10 <休憩>
- 10:10-11:10 「コイル（仮）」 田崎 賢司（東芝）  
和久田 毅（日立製作所）
- 11:10-12:10 「超伝導デバイス（仮）」 日高 睦夫（産業技術総合研究所）
- 12:10-13:00 ≪昼食、休憩≫
- 13:00-14:00 「超伝導送電他（仮）」 三村 智男（東京電力株式会社）
- 14:00-14:10 <休憩>
- 14:10-15:00 閉講式 及びディスカッション

一般社団法人未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

## 第41回シンポジウム／第19回超伝導科学技術賞授賞式

### テーマ：～超伝導で走る～

日 時：平成27年4月17日（金） 10：00～17：00

場 所：タワーホール船堀 小ホール

## 研究会の動き

〔平成26年（2014年）10月1日～平成26年（2014年）12月31日〕

### 調査委員会（日本原子力研究開発機構より受託調査）

平成26年度第2回

日 時：平成26年11月21日（金） 10：00～12：00

場 所：商工会館 8A会議室

出席者：委員9名

事務局2名

議 事：

- (1) 前回議事録の確認
- (2) 国内調査の報告
- (3) ワークショップについて

### 第19回超伝導科学技術賞 審査委員会

平成26年度第1回

日 時：平成26年12月18日（木） 13:30～15:30

場 所：学術総合センター11階 共用会議室

出席者：幹事9名

事務局2名

議 事：第19回超伝導科学技術賞の選考

### 幹事会

平成26年度第4回

日 時：平成26年12月18日（木） 15:45～17:45

場 所：学術総合センター11階 共用会議室

出席者：幹事8名

事務局2名

議 事：

- (1) 前回議事録の確認
- (2) 第85回ワークショップについて
- (3) 第2回超伝導科学技術セミナーについて
- (4) 第41回超伝導シンポジウムについて
- (5) 第17回日米ワークショップについて
- (6) FSSTNEWSについて

## 国内超伝導関連会議

### Conferences related to Superconductivity (Domestic)

会議名	日付	開催場所	主催及び問合せ先
応用物理学会／春季 学術講演会	H27.3.11～3.14	東海大学 湘南キャンパス (神奈川県平塚市)	応用物理学会
日本物理学会／第70回 年次大会	H27.3.21～3.24	早稲田大学 早稲田キャンパス (東京都新宿区)	日本物理学会
第91回低温工学・超電導 学会研究発表会	H27.5.27～5.29	産業技術総合研究所 つくばセンター共用講堂 (茨城県つくば市)	低温工学・超電導学会
応用物理学会／秋季 講演会	H27.9.13～9.16	名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市)	応用物理学会

## 国際会議及び国外の主要な会議

### Conferences related to Superconductivity (International/Abroad)

会議名	日付	開催場所	主催及び問合せ先
2015MRS Spring Meeting & Exhibit	2015.4.6～4.10	San Francisco, California, USA	<a href="http://www.mrs.org/spring2015/">http://www.mrs.org/spring2015/</a>
APS April Meeting	2015.4.11～4.14	Baltimore, Maryland, USA	<a href="http://www.aps.org/meetings/april/index.cfm">http://www.aps.org/meetings/april/index.cfm</a>
CEC-ICMC	2015.6.28～7.2	Tucson, Arizona, USA	<a href="http://indico.cern.ch/event/344330/">http://indico.cern.ch/event/344330/</a>
ISEC2015	2015.7.6～7.9	Nagoya, Japan	<a href="http://isec2015.org/">http://isec2015.org/</a>
M <sup>2</sup> S2015	2015.8.23～8.28	Geneva, Switzerland	<a href="http://m2s-2015.ch/">http://m2s-2015.ch/</a>
12th European Conference On Applied Superconductivity	2015.9.6-9～9.10	Lyon, France	<a href="http://www.eucas2015.org/">http://www.eucas2015.org/</a>

## 超伝導科学技術研究会 編集委員会 委員

日高 睦夫	独立行政法人産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 超伝導計測デバイスグループ 上級主任研究員	木村 茂行	一般社団法人 未踏科学技術協会 理事長
荒井 有気	公益財団法人鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 低温システム研究室 副主任研究員	大貫留美子	一般社団法人 未踏科学技術協会 事務局長
伊豫 彰	独立行政法人産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 超伝導エレクトロニクスグループ 上級主任研究員	金子 幸枝	一般社団法人 未踏科学技術協会
小泉 勉	昭和電線ケーブルシステム株式会社 技術開発センター 超電導線材開発グループ グループ長		

