

FSST NEWS

Forum of Superconductivity

Science and Technology News

No. 129

(社)未踏科学技術協会
平成 23 年 5 月 20 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.129 目次>

<随想>

「超伝導現象発見 100 周年を顧みて」

東海大学 太刀川 恭治2

<トピックス 1>

「鉄系超伝導体 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ の光学応答」

東京大学 中島 正道4

<トピックス 2>

「東日本大震災と超伝導免震装置の開発」

東北大学 津田 理8

<震災特集>

東日本大震災について

超伝導科学技術研究会 会長 下山 淳一13

(1) 「東京大学本郷キャンパスにおける NMR 装置クエンチの事例紹介」

東京大学 下山 淳一13

(2) 「産総研つくばセンターにおける超伝導研究現場での震災の影響」

産業技術総合研究所 伊豫 彰14

(3) 「東日本大震災による KEK 加速器の被害状況」

高エネルギー加速器研究機構 生出勝宣15

(4) 東北大学における超伝導関連機器への東日本大震災の被害状況

東北大学 淡路 智17

<会議報告>

第 77 回ワークショップ会議報告

国際超伝導産業技術センター 日高 睦夫18

○第 37 回シンポジウム／第 15 回超伝導科学技術賞授賞式

.....20

○研究会の動き

.....21

○国内超伝導関連会議／国際会議及び国外の主要な会議

.....22

<随想>

超伝導現象発見 100 周年を顧みて

A brief comment at the centennial year
of superconductivity

東海大学・工学部

太刀川 恭治

Faculty of Engineering, Tokai University

Kyoji Tachikawa

始めに超伝導現象を発見したH. Kamerlingh Onnesの背景について簡単にのべてみよう。彼は1853年最近NHKテレビでも紹介されたオランダ北部の都市Groningenの有名な工場主の家に生れ、Groningen大学理学部卒業後、1878年Delft工科大学の助手となり、気体の状態方程式で著名なVan der Waalsの指導をうけた。1882年Leiden大学物理学教授となり、以後物理学研究所長を42年間勤めた(現在も同研究所の名前に彼の名が残されている)。彼はVan der Waalsの法則をなるべく低温まで明らかにすることを目的に低温工学の道を進んだ。まず空気の大量液化を行ったのち、1906年に4 l/hの水素液化、1908年に0.28 l/hのヘリウム液化に初めて成功した。これらの活動には、液化装置やデュワー瓶の製作に必要な大型ガラス工場の設置を始め多くの機械工学の知識を必要としたと考えられるが、それには工場主の子息という技術者の系統も大いに役立ったと想像される。

一方、20世紀初頭は古典物理学から、Einstein, Planck, Bohrらの研究による量子物理学への変革期にあった。そのため極低温における金属の電気抵抗や比熱の研究が物理学の先端的なテーマとなっていた。こ



図 Kamerlingh Onnes (1922) [1]

のような新しい研究ムードの高まりによってOnnesも液体ヘリウムを用いて絶対零度に近い極低温におけるなるべく純粋な種々の金属による電気抵抗について研究を行った。その結果1911年高純度の水銀について予期していなかった超伝導現象を発見したのは周知の通りである。このように超伝導は最初から先端的な工学と物理学の融合によって見出されたといえる。図に画家であった彼の甥が画いた肖像画を示す[1]。

その後Onnesはつづいて発見された7.2 Kの臨界温度 T_c をもつPb線を用いて1914年永久電流の実験に成功している。量子力学の理論体系が確立されたのはOnnesが死去した1920年代後半であったが、量子現象である超伝導理論(BCS理論)の提出までには以後さらに約30年を要した。この間電子対形成に対する凍結磁束の精密測定による示唆や、アイントープ効果の研究による格子振動の寄与に関する示唆等の低温物理学の実験結果がBCS理論の支えとなり、超伝導という物理学における難問の解決に寄与した。

一方1950年代に入ると当時新金属であったNbの超伝導が見出され、1960年にはAutlerはNb線を用いたコイルで0.43 Tの磁界を発生した。さらに1952年にHulmらはA15型化合物の V_3Si について当時としては格段に高い17 Kの T_c を発見した。これを契機にBell研のMatthiasらは30種類ものA15型化合物超伝導体を次々に見出し、1954年には Nb_3Sn で18 Kの T_c を観測した。1960年になるとBell研のKunzlerらは Nb_3Sn 焼結体が当時最高の8.8 Tまで超伝導性を保つことを確認し、高磁界超伝導体のはしりとなった。彼はこの成果により21ボトルのスコッチウイスキーを褒美にもらったというエピソードもある。このようにして1960年代に入ると超伝導物質は超伝(電)導材料へと変化した。

1961年KunzlerはいわゆるPIT法により Nb_3Sn 線材を作製し、熱処理後4.2 K, 8.8 Tで $\sim 1500 \text{ A/mm}^2$ の大きい臨界電流密度をえた。またNb-Zr合金線も加工され、これらにより応用を目指した静かなる超伝導ブーム(第1次ブーム?)が起り、筆者も超伝導材料の研究に着手した。このようにBCS理論体系の確立と実用的材料の発見とはほぼ同時期に当り、相互にムードの高まりによる何らかの相関関係のあったことが想像される。

ついで基礎研究面からは、1962年に超伝導エレクトロニクスの道を拓いたジョセフソン効果の発見、また第2種超伝導体の基盤となったGLAG理論等の大きい貢献があった。材料面では αTi のピン止めセンターが導入されたCuとの複合加工性の良いNb-Ti合金多芯線が開発されてMRI等に広く用いられるようになった。また V_3Ga や Nb_3Sn についてCuの拡散促進効果を利用したブロンズ法が発明されて化合物多芯線が開発され、20

Tの高磁界発生が可能となった。これらの線材の工業化技術は1980年代前半までにほぼ完成し、大量に用いられるようになった。このような実用化の進展に伴い1980年頃からさらに高い T_c を持つ新物質探索のムードが高まり、種々の新しい発現機構が提案された。

その結果1986年見出されたのがBednorz, Müllerによる第2次ブームの銅酸化物系超伝導体であり、現在液体窒素温度でのBi系やY系超伝導線材が実用化の域に入り、それらの応用が図られている。今世紀に入り発見された MgB_2 は液体水中中で使用可能であり、材料組織の際どい制御を必要としない金属系の超伝導体として期待されている。さらに高性能の鉄ニクタイト系超伝導体等も見出され、研究が進められている。Onnesの極低温領域の研究により超伝導現象が見出されたが、振子はまた室温の1/2程度まで戻りつつある。しかし絶対温度に近づいたOnnesの努力は無駄ではなかった。

一方、1960年代後半からエレクトロニクスデバイスへの応用が熱心に研究され、線材応用、材料と並んだ大きい分野を形成して発展してきた。SQUIDを用いた計測システムは超伝導特性測定に普及するとともに、心磁系、脳磁計をはじめとする医療分野、非破壊検査等広い分野への応用が図られ、今後地震予知にも活躍する事が期待される。天文分野でも高感度のSISミキサーが利用され、また高周波通信分野では、小型で高性能のバンドパスフィルターが基地局の受信等に実用化された。さらに高速で消費電力の極めて少ないデジタル素子としての開発が精力的に進められた。

これらのデバイス分野への応用では、バラツキの少ない素子を作るための成膜法と接合法や多数の回路素子の集積法等の技術が実用化における大きい課題となった。一方、この分野では小型で軽量の冷凍機の開発が大きい力となった。素子材料としてはPbを経てNbが多く用いられ、ついで銅酸化物系薄膜の開発が熱心に進められた。今後薄膜材料面からの改良も期待される。

このように現在超伝導材料とその応用は多岐な分野に進出している。わが国では線材もデバイスも大企業の一部門として研究開発が進められ、その総合力が生かされた。一方米国ではQuantum Design社のようなベンチャー企業からスタートした成功例も見られている。わが国でも線材分野ではJASTEC社のような専門メーカーが活躍するようになった。先に述べた第1次ブームの際はわが国の高度成長期にあたり、第2次ブームはいわゆるバブル期にあたり経済界からの支援を受け易い状況にあった。今後超伝導の発展を保つには企業の収益に大きくプラスになることが求められる。そのためには応用面では新しいヒット機器の出現と材料面では高性能で扱いやすい材料の提供が望まれる。

線材の分野に戻ると現在は、超伝導の応用を支えている金属系超伝導線材の改良によるメリットの増大、銅酸化物系超伝導線材の実用化、新超伝導物質の探索を3つの柱として進められている。今後も広い物質分野に目を向けた研究により第3のブームが起る可能性もある。新物質探索は海洋開発のようなもので大きい可能性を持つ一方広範囲の探索が必要となる。その達成にはtry、improve、continueといった努力が必要となろう。

本稿で述べたように超伝導は物性、材料開発及び応用の3分野が強くリンクしている点興味があり、一層緊密な連携が望まれる。これによりさらに研究ムードが高められて新しい進展が生れることが期待される。話をはじめて返すと超伝導はOnnesにより極低温という未踏の領域に足をふみ入れることにより生れた典型的な科学技術であり、その精神は今なお生きているといえよう。彼も超伝導の今後の新しい発展を願って興味深く見守っていると考えられる。

参考文献

- [1] R. de Bruyn Ouboter: IEEE Trans. Magn. **MAG-23** (1987) 355.

<トピックス1>

鉄系超伝導体 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ の光学応答

Optical response of $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$

東京大学大学院理学系研究科

中島正道、内田慎一

Department of Physics, The University of Tokyo

M. Nakajima and S. Uchida

1. はじめに

$\text{LaFeAs}(\text{O}, \text{F})$ に始まる一連の鉄系高温超伝導体の発見は、世界中の研究者の興味を強く惹きつけ、幅広い分野に渡る活発な研究の引き金となった[1,2]。中でも大きな関心が寄せられているのは、鉄系超伝導体における高い転移温度(T_c)を引き起こすメカニズムの解明、及び、より高い T_c を持つ物質の探索であろう。これらの実現のためには、純良な単結晶を用いた系統的な研究を遂行し、この物質群を舞台としてどのような電子状態が実現しているかを明らかにすることが肝要である。今までに数多く見つかった鉄系超伝導体の中でも、 ThCr_2Si_2 型構造を持つ AEFe_2As_2 ($\text{AE}=\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}$)を母物質とする、いわゆる“122系”と呼ばれる物質群は単結晶試料の得やすさから、恰好の研究対象となっている(図1)。122系の母物質は、低温で正方晶から斜方晶への構造相転移を起こし、それと同時にストライプ型の反強磁性秩序を示す。図1に示しているのは、 BaFe_2As_2 を母物質として、FeサイトをCo原子で置換したときの相図であるが、Coをドーピングにしたがって構造・磁気転移が抑制され、超伝導が発現する[3]。この系では他にも、BaサイトへのK置換[4]、AsサイトへのP置換[5]、さらには圧力を印加することでも超伝導を得ることができる[6]。

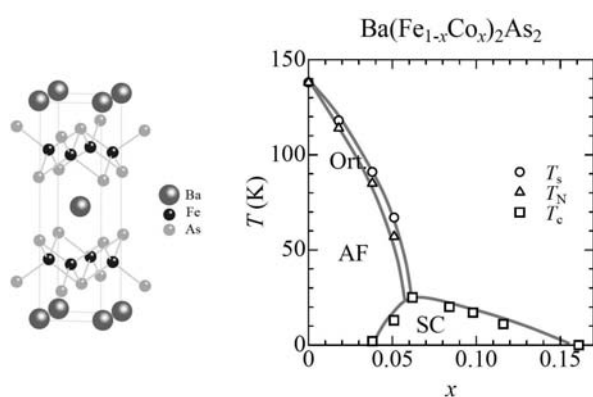


図1 BaFe_2As_2 の結晶構造とCoドーピングに対する相図

筆者らは幅広いドーピング領域で大型単結晶を育成することのできる $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ に注目し、電子輸送現象や光学スペクトルの測定を行ってきた。光学スペクトルの測定は、物質の電子状態を探る上で有用な手法である。鉄系超伝導体は表面状態を形成しやすいことが知られているが、光学測定に用いるエネルギーの光は大きな侵入長を持つために表面状態に鈍感であり、また、光学スペクトルには電子状態を広いエネルギー領域で俯瞰することが可能であるという大きな利点がある。本稿では、最適ドーピング組成である $x=0.06$ ($T_c=25$ K)の試料に対する光学測定の結果について紹介する。

2. 室温の反射率スペクトル

まずは室温における反射率スペクトルを見てみることにするが、本題の鉄系超伝導体の結果に入る前に典型的な金属の光応答をおさらいしたい。一般に金属の光応答の特徴は高い反射率にある。代表的な例として図2(a)に金の反射率スペクトルを示す[7]。反射率の高い状態はプラズマ周波数 ω_p まで続き、その後急激に落ち、プラズマエッジを形成する。 ω_p よりも低い周波数の反射率が高いのは、光に伴う電磁場を自由電子が遮蔽するためである。その結果、光は金属中に入り込むことができないので、表面で反射される。 ω_p は可視光の周波数領域にあり、それが金属光沢の原因となっている。

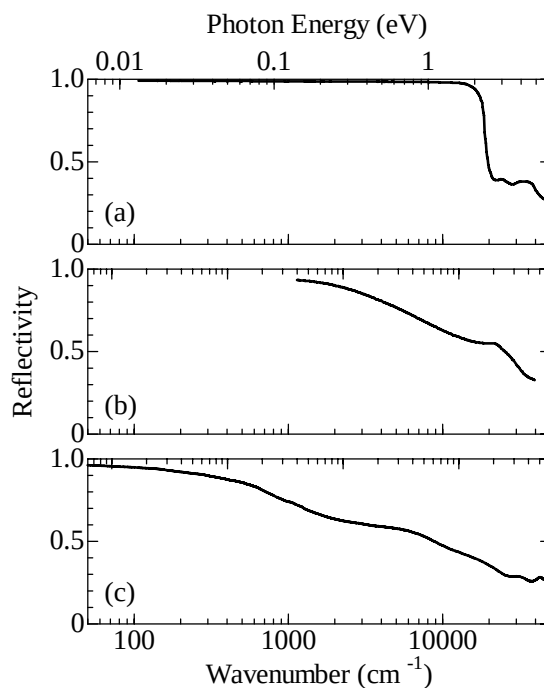


図2 (a)金、(b)鉄、(c) $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.94}\text{Co}_{0.06})_2\text{As}_2$ の室温反射率スペクトル。(a)、(b)のデータは参考文献[7]より引用

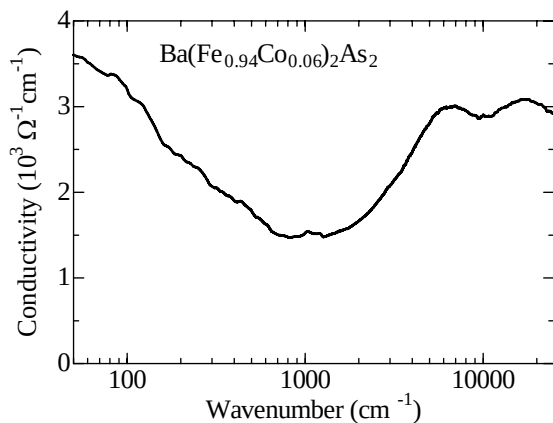


図3 Ba(Fe_{0.94}Co_{0.06})₂As₂の室温光学伝導度スペクトル

一方、 ω_p より高い周波数の光になると、電子が電磁場の変動に追従できなくなり、光が金属中に侵入するため、反射率が減少する。

このように、通常、金属は反射率の高い領域と低い領域とははっきりと分かれているが、金属でも鉄の反射率は非常になだらかに変化する(図2(b)) [7]。可視域の反射率は金に比べて低くなっており、鉄が鈍い光沢を示すのはこのためである。これは鉄が3dのすべての軌道を作るマルチバンドの系であるため、バンド間遷移が ω_p 周辺のエネルギーにも重なってきてしまい、プラズマエッジがぼけてしまうからである。

ここで、鉄系超伝導体Ba(Fe_{0.94}Co_{0.06})₂As₂のスペクトルに目を向けてみると(図2(c))、周波数の増加に伴って反射率がだんだら下っており、鉄のスペクトルによく似た振舞いであることが分かる。これは、バンド計算によっていち早く指摘されたように[8,9]、鉄系超伝導体もまたマルチバンドの系であることに起因する。反射率の減衰は鉄に比べて大きく、電気伝導に寄与するキャリア密度が小さいことを意味している。可視域の反射率は銅酸化物高温超伝導体よりは高いものの、銅酸化物と同様に黒ずんで見える理由はここにある。この物質がマルチバンドの系であることは、輸送現象測定においても、ホール抵抗が磁場に対して非線形であるといったことなどから確認されている[10,11]。

3. 光学伝導度スペクトル

幅広いエネルギー領域の反射率測定が行われていれば、Kramers-Kronig (KK) 変換を施すことで様々な光学定数を用いた定量的な解析が可能となるが、その中でも、光学伝導度($\sigma(\omega)$)が有用である。この光学伝導度は、周波数がゼロの極限 $\sigma(\omega \rightarrow 0)$ では電気抵抗率に対応した量となる。また、光学伝導度は光の吸収係数に比例する量なので、バンド間遷移など固体中のいろいろな励起状態に関係した光の吸収を見ることができる。

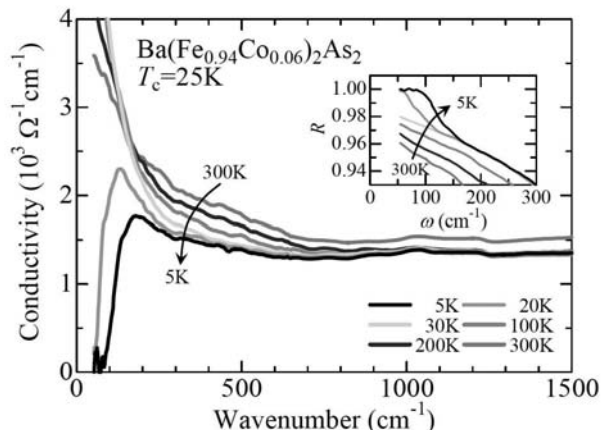


図4 Ba(Fe_{0.94}Co_{0.06})₂As₂の光学伝導度スペクトルの温度依存性。挿入図は低エネルギー領域の反射率スペクトル

Ba(Fe_{0.94}Co_{0.06})₂As₂の室温反射率からKK変換を用いて光学伝導度を求めると、図3に示すようなスペクトルが得られる。 $\omega=0$ のピークはエネルギーとともにゆっくりと減少し、長い裾を引く。700 cm⁻¹付近でスペクトルは平らになり、その後、バンド間遷移によるピークが現れる(1 eVは約8,065 cm⁻¹)。光学伝導度の値は常に1,500 Ω⁻¹cm⁻¹程度かそれ以上を保っており、 $\omega=0$ のピークとバンド間遷移によるピークが明確に分離されていないが、これは、明確なプラズマエッジを持たずただ下がっていく反射率スペクトルに原因がある。

次に、光学伝導度スペクトルの温度変化を見てみよう(図4)。温度を下げていくと、 $\omega=0$ のピークが鋭くなり、高さを増す[12]。これは、この物質が金属的である(電気抵抗率が減少していく)ことに対応している。温度が T_c 以下になると、超伝導ギャップが開くために低エネルギー領域の伝導度が急激に抑制される。似た振舞いはKドープの試料を用いた測定でも報告されている[13]。挿入図の反射率を見てみると、 T_c を境に150 cm⁻¹以下の反射率が持ち上がり、80 cm⁻¹以下の低エネルギーでは反射率が1に近づいている。この実験事実は、この物質がギャップの節(ノード)を持たない超伝導体であることを示唆しており、そのギャップエネルギー80 cm⁻¹は角度分解光電子分光 (ARPES) の結果[14]や理論による予測[8,9]ともよく一致する。実験の精度を考慮すると、80 cm⁻¹より高いエネルギーにギャップが隠れていたり[15,16,17]、低エネルギーに有限の伝導度が残されている可能性[18,19]は必ずしも排除できないが、超伝導ギャップの大きさを $2\Delta \sim 80$ cm⁻¹ ($T=5$ K)だとすると、 $2\Delta/k_B T_c \sim 4.6$ となる。これは、比較的高い $T_c=25$ Kに見合った大きな超伝導ギャップと言える。

光学スペクトルの結果からは磁場侵入長も導くことができる。超伝導ギャップが開くことによって低エネルギー

の光学伝導度は大きく抑制されるが、この“失われた面積”は超流動密度(ρ_s)と次の式で対応している。

$$\rho_s = 8 \int_0^{\omega_c} d\omega [\sigma_1(\omega, T \approx T_c) - \sigma_1(\omega, T = 5K)].$$

磁場侵入長 λ は超流動密度と $\rho_s = c^2 / \lambda^2$ という関係式で結びついているので、結局、失われた面積を計算すれば磁場侵入長を見積もれることになる。我々の結果からは、 λ は 2770 ± 250 Åとなる。この値はミュオンスピン緩和[20]やトンネルダイオード共鳴[21]といった他の実験手法により求められた値と良い一致を示す。大きな λ は、この物質が銅酸化物高温超伝導体と同様低超流動密度を意味し、極端な第II種超伝導体であることを示している。

4. 光学伝導度スペクトルの成分分解

以下では、光学伝導度スペクトルをいくつかの成分に分けて考察する。定量的な解析のためによく採用されるのは、スペクトルをドルーデ成分とローレンツ成分へ分解するという方法である。鉄系超伝導体の低エネルギー領域のスペクトルは、前述したように長い裾を引いているため、一つのドルーデ成分で表すことは難しい。筆者らは、この系がマルチバンド系であることを考慮して、図5(a)に示すように、二つのドルーデ成分(と高エネルギーのバンド間遷移を表すローレンツ成分)でフィッティングを行った[12,22]。それぞれのドルーデ成分は対照的な特徴を持っており、一方は幅の狭く(斜線部)、もう一方は非常に幅が広い(網目部)。これは、一部のキャリアが非常に強い散乱を受けていることを意味している。このことは銅酸化物高温超伝導体においても同様で、高い T_c を持つ超伝導体の常伝導状態の特徴といえる。また、ドルーデ成分の大きさは、二つ合わせても通常の金属のドルーデ成分に比べるとかなり小さく、低キャリア密度であることを示している。

超伝導状態での成分分解は図5(b)のようになる。破線は T_c 直上の各成分を表している。この図より明らかに、超伝導状態のスペクトルは両方のドルーデ成分にギャップが開くと考えなければ説明がつかない。ARPESなどの実験から、この物質は大きさの異なる超伝導ギャップが開いていると言われているが、図に示したようなフィッティングの精度では、大きさの異なるギャップの存在は必要ない。

図5(c)は母物質 BaFe_2As_2 の低温相のスペクトルであるが、この場合は幅の広いドルーデ成分のみに、ギャップが開いていることが分かる。この反強磁性相は超伝導相と競合または共存する秩序として注目を集めているが、秩序形成に伴うギャップの開き方の違いは興味深い。本稿の本筋から外れた話になるが、最近では、非双晶

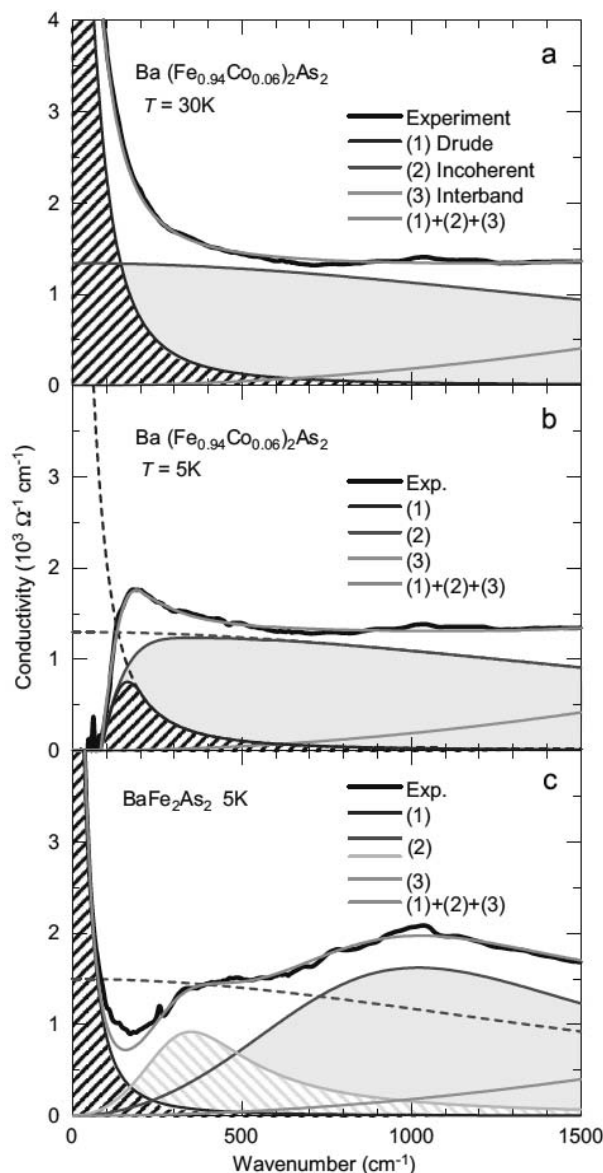


図5 (a) 30 K、(b) 5 Kにおける $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.94}\text{Co}_{0.06})_2\text{As}_2$ の光学伝導度スペクトルの成分分解。(c) 5 Kにおける BaFe_2As_2 の光学伝導度スペクトルの成分分解[22]

化した試料を用いた実験により、幅の広いドルーデ成分に開く異方的なギャップがこの物質の異方性の原因となっていることが明らかになっている[23]。

5. まとめ

本稿では、鉄系超伝導体 $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.94}\text{Co}_{0.06})_2\text{As}_2$ の光学測定の結果を紹介した。常伝導状態での低エネルギー光学伝導度スペクトルは二つのドルーデ成分で表され、超伝導状態では超伝導ギャップが両者に開く。光学スペクトルは鉄系化合物の低キャリア密度、低超流動密度の特徴を捉えている。超伝導ギャップの開き方は、母物質における構造・磁気転移によって幅の広いドルーデ成分にのみギャップが開くのと対照的な振舞いである。

鉄系超伝導の本質に迫るためには、ドーピングとともに電子状態がどのように変化していくのか、より詳細に追っていく必要がある。

本研究は、石田茂之(東京大学)、木方邦宏、富岡泰秀、李哲虎、伊豫彰、永崎洋、伊藤利充(産業技術総合研究所)の各氏との共同研究に基づくものです。ここに感謝致します。

東日本大震災の甚大さは想像を絶するものであり、本稿の執筆中にも数多くの余震が発生しました。幸いにも東京大学本郷キャンパスにある筆者らの研究室に大きな被害は出ませんでした。単結晶育成を行っていたつくば市の産業技術総合研究所では、4月末現在、未だに実験を再開できない状況です。被災された皆様には心よりお見舞い申し上げるとともに、一日も早い復興をお祈り申し上げます。

参考文献

- [1] K. Ishida, Y. Nakai, and H. Hosono: J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) 062001.
- [2] D. C. Johnston: Advances in Physics **59** (2010) 803.
- [3] A. S. Sefat, A. Huq, M. A. McGuire, R. Jin, B. C. Sales, and D. Mandrus: Phys. Rev. B **78** (2008) 104505.
- [4] M. Rotter, M. Tegel, and D. Johrendt: Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 107006.
- [5] S. Jiang, H. Xing, G. Xuan, C. Wang, Z. Ren, C. Feng, J. Dai, Z. Xu, and G. Cao: J. Phys.: Condens. Matter **21** (2009) 382203.
- [6] P. L. Alireza, Y. T. C. Ko, J. Gillett, C. M. Petrone, J. M. Cole, S. E. Sebastian, and G. G. Lonzarich: J. Phys.: Cond. Mat. **21** (2008) 012208.
- [7] 工藤恵栄著:「基礎物性図表」共立出版 (1972).
- [8] I. I. Mazin, D. J. Singh, M. D. Johannes, and M. H. Du: Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 057003.
- [9] K. Kuroki, S. Onari, R. Arita, H. Usui, Y. Tanaka, H. Kontani, and H. Aoki: Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 087004.
- [10] Y. Tomioka, S. Ishida, M. Nakajima, T. Ito, H. Kito, A. Iyo, H. Eisaki, and S. Uchida: Phys. Rev. B **79** (2009) 132506.
- [11] S. Ishida, M. Nakajima, Y. Tomioka, T. Ito, K. Miyazawa, H. Kito, C. H. Lee, M. Ishikado, S. Shamoto, A. Iyo, H. Eisaki, K. M. Kojima, and S. Uchida: Phys. Rev. B **81** (2010) 194515.
- [12] M. Nakajima, S. Ishida, K. Kihou, Y. Tomioka, T. Ito, Y. Yoshida, C. H. Lee, H. Kito, A. Iyo, H. Eisaki, K. M. Kojima, and S. Uchida: Phys. Rev. B **81** (2010) 104528.
- [13] G. Li, W. Z. Hu, J. Dong, Z. Li, P. Zheng, G. F. Chen, J. L. Luo, and N. L. Wang: Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 107004.
- [14] K. Terashima, Y. Sekiba, J. H. Bowen, K. Nakayama, T. Kawabata, T. Sato, P. Richard, Y.-M. Xu, L. J. Li, G. H. Cao, Z.-A. Xu, H. Ding, and T. Takahashi: Proc. Natl. Acad. Sci. **106** (2009) 7330.
- [15] K. W. Kim, M. Rössle, A. Dubroka, V. K. Malik, T. Wolf, and C. Bernhard: Phys. Rev. B **81** (2010) 214508.
- [16] E. van Heumen, Y. Huang, S. de Jong, A. B. Kuzmenko, M. S. Golden, and D. van der Marel: EPL **90** (2010) 37005.
- [17] J. J. Tu, J. Li, W. Liu, A. Punnoose, Y. Gong, Y. H. Ren, L. J. Li, G. H. Cao, Z. A. Xu, and C. C. Homes: Phys. Rev. B **82** (2010) 174509.
- [18] D. Wu, N. Barišić, P. Kallina, A. Faridian, B. Gorchunov, N. Drichko, L. J. Li, X. Lin, G. H. Cao, Z. A. Xu, N. L. Wang, and M. Dressel: Phys. Rev. B **81** (2010) 100512(R).
- [19] B. Gorshunov, D. Wu, A. A. Voronkov, P. Kallina, K. Iida, S. Haindl, F. Kurth, L. Schultz, B. Holzapfel, and M. Dressel: Phys. Rev. B **81** (2010) 060509(R).
- [20] T. J. Williams, A. A. Aczel, E. Baggio-Saitovitch, S. L. Bud'ko, P. C. Canfield, J. P. Carlo, T. Goko, J. Munevar, N. Ni, Y. J. Uemura, W. Yu, and G. M. Luke: Phys. Rev. B **80** (2009) 094501.
- [21] R. T. Gordon, N. Ni, C. Martin, M. A. Tanatar, M. D. Vannette, H. Kim, G. D. Samolyuk, J. Schmalian, S. Nandi, A. Kreyssig, A. I. Goldman, J. Q. Yan, S. L. Bud'ko, P. C. Canfield, and R. Prozorov: Phys. Rev. Lett. **102** (2009) 127004.
- [22] M. Nakajima, S. Ishida, T. Liang, K. Kihou, Y. Tomioka, T. Ito, C. H. Lee, H. Kito, A. Iyo, H. Eisaki, K. M. Kojima, T. Kakeshita, and S. Uchida: J. Phys. Chem. Solids **72** (2011) 511.
- [23] M. Nakajima, T. Liang, S. Ishida, Y. Tomioka, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, T. Kakeshita, T. Ito, and S. Uchida (unpublished).

<トピックス2>

東日本大震災と超電導免震装置の開発

The Great East Japan Earthquake and Development of Superconducting Seismic Isolation Device

東北大学

津田 理、宮城 大輔、濱島 高太郎

Tohoku University

M. Tsuda, D. Miyagi, and T. Hamajima

1. はじめに

我が国は地震大国であり、全国どこにおいても大地震発生の可能性は否定できない。戸建住宅、マンション、ビル、美術館、博物館、そして、原子力施設などでは、地震発生時には、建物の倒壊回避のみならず、機能的維持や財産保護が重要となる。このため、これまでに、数多くの免震装置の研究開発が進められ、既に、戸建住宅、マンション、ビル、美術館、博物館などでは実際に導入されている。しかし、従来の免震装置では、「支承」と「減衰」という相互干渉のある2つの要素をうまくバランスさせる必要があることから、1) 長周期振動に対して振幅が増大する場合がある、2) 大きな振動に対する免震効果は大きい小さな振動(微振動を含む)に対しては免震効果が小さい、3) 免震対象物の固有周期の長周期化が容易ではない、4) 免震対象物が軽量の場合は十分な免震効果が得られない、5) 免震対象物の不均一荷重に対し“ねじれ”が発生するため設計が容易ではない、6) 除振装置との併用が困難である、等の課題がある。また、実際に使用されている免震装置において、7) 免震効果(加速度低減効果)が想定値の20%程度しか得られなかった、8) 余震では震度以上の揺れを感じた、などの報告もある。しかし、これらの技術課題の克服は、従来の免震方法(「支承」と「減衰」の組合せにより免震効果を得る方法)の適用では困難であることから、現在は、アクティブ制御を用いた対応策の検討が行われている。しかし、アクティブ制御を伴うシステムでは、様々なセンサを用い、それらの信号情報をフィードバックさせ振動を抑制するための力を発生させる必要があることから、システム構成が複雑となり非常に高価となる。以上より、上記課題解決には、免震対象物を浮上させ、振動発生源と免震対象物との物理的繋がりを無くし、免震対象物への振動伝達を除去することが有効であると考えた。そして、バルク体固有の磁気浮上特性を活用した、超電導バルク体(以下、「バルク体」と称す)と永久磁石で構成される“磁気浮上型超電導免震装置”を考

案した。

2. 東日本大震災

2011年3月11日に東北三陸沖でマグニチュード9.0という国内観測史上最大でかつ1990年以降では世界第4位に相当する巨大地震「東北地方太平洋沖地震」が発生した。この地震では、建造物の倒壊、津波、地すべり、地盤沈下などの直接的被害のほか、大規模停電、断水、ガス供給停止、そして、福島原子力発電所事故に伴う放射性物質漏れなど、東北地方から関東地方に至るまでの幅広い地域において甚大な被害をもたらした。以下では、この地震による被害状況の一例を紹介する。

2.1 東北大学濱島研究室の被害状況

東北大学工学研究科のある青葉山キャンパスでは、青葉山キャンパスへの移転初期に建設された建物での損傷が激しく、立ち入り禁止となっている建物が幾つかある。我々が所属する電気系では、メインの8階建ての建物と講義棟が大きく損傷したが、その北側の2階建て建物の中にある濱島研究室は、揺れが大きく、学生の居室では、図1の様に、書籍や資料などが部屋中に散乱したが、建物自体には大きな損傷はなかった。また、実験室では、図2(左奥)の様に、一部測定機器が棚から落下したものの、大きな被害はなかった。この様に大きな被害を回避できた理由の一つとしては、実験装置や計算機が置かれていた机やラックが床や壁に固定されていなかったことが挙げられる。これは、地震時に建物が大きく揺れたものの、机やラックが床の上をすべり、地震動の伝達が抑制された、すなわち、等価的な免震効果を得ることができたためであると考えられる。逆に、図2(左右奥)にある収納棚は、突っ張り棒で固定していたため大きな揺れに対して転倒しなかったものの、測定器は棚の中をすべって外に飛び出し落下した。以上より、床の摩擦係数が小さい場合は、転倒の心配が無ければ棚やラックを固定しない方が振動伝達抑制の点では有



図1 濱島研究室の被害状況(学生居室)



図2 濱島研究室の被害状況(実験室)

効であるといえる。ただし、振動伝達抑制効果が高い場合(床の摩擦係数が小さい場合)ほど、地震時の床と床上のものとの相対変位が大きくなるため、十分なストローク余裕を確保する必要がある(本研究室での測定機器の落下は、棚の奥行きが地震時のストローク以下であったことに起因する)。この様に、直下型地震でない限り地震被害のほとんどは横揺れに起因しており、横揺れによる被害抑制には免震装置の導入が大変有用であることがわかる。

2.2 原子力発電所の被害状況

今回の地震では、津波による被害が大きく、福島第一原子力発電所では、地震とそれに続く大津波襲来で全電源を喪失し、原子炉等の冷却が不十分となり、大量の放射性物質が外部に漏れるという大事故までに発展した。しかし、それ以前に、本震時の揺れは震度6強で、この時の最大加速度は設計値の約126%に相当する550ガルを記録しており、施設内外において大きなダメージを受けている。電力会社では、2007年7月に発生した新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の運転中発電機の緊急停止、変圧器火災、放射性物質の漏洩、建物内への入室困難などの被害状況を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所と今回被災した福島第一・第二原子力発電所では耐震安全性向上のための耐震強化工事を行い、災害発生時に対策活動の拠点となる緊急時対策室や通信・電源などの重要設備を集合させた免震重要棟(免震装置を設置した建物)を建設する等対策を講じてきた。この甲斐あって、今回の地震では、免震重要棟での被害は無く、緊急対策本部として機能している。しかし、肝心の原子力施設については、1984年に南アフリカ共和国のKoeberg軽水炉とフランスのCruas軽水炉の原子炉建屋に免震装置が適用された例はあるものの、国内では、軽水炉原子炉やFBR原子炉の建屋や原子力発電所の電気計装盤への導入検討が行われているだけで、実際に導入された事例は存在し

ない。これは、想定を超える巨大地震に遭遇した場合のリスクを考慮した免震装置設計が求められるためである。現在は、水平地震動と鉛直地震動が同時に作用した場合などの免震装置の基本特性試験が進められており、高性能免震装置の早期導入が期待されている。

3. 超電導免震装置の免震原理と検証試験

従来の免震装置は、支承機構と減衰機構で構成されており、免震対象物の固有周期を地震動の振動周期よりも大きくすることにより免震対象物への振動伝達を抑制するものである。このため、地震動の振動周期が免震装置を設置した場合の免震対象物の固有周期よりも小さい場合は、大きな振動伝達抑制効果(免震効果)を期待できる。しかし、地震動の振動周期が免震対象物の固有周期よりも大きい場合(長周期振動の場合)は、免震どころか、振動伝達率が100%以上となり、振幅が増大する。このため、免震装置には免震対象物の固有周期を可能な限り大きくすることが求められているが、従来の免震原理に基づく免震装置では、このような長周期振動に対して免震効果を得ることは容易ではない。そこで、バルク体固有の性質を活用した、バルク体と永久磁石で構成される磁気浮上型超電導免震装置を考案した[1]。本超電導免震装置の構成例を図3に示す。図3の様な永久磁石ユニット(永久磁石レール)を採用することにより、はじめて永久磁石とは無関係に永久磁石上空でバルク体を浮上させることができる。これは、本超電導免震装置には従来の免震装置にあるバネ定数や減衰定数が存在せず、理論上は、任意の水平振動を免震対象物に全く伝達させない完全免震(絶対免震)が可能であることを意味している。

図3の免震装置は、最下層(第1層)が永久磁石レール、中間層(第2層)がバルク体と永久磁石レール、最上層(第3層)がバルク体で構成されている。なお、中間層のバルク体と永久磁石レールは固定されており、運動をともにする。図3において、例えば、最下層にx方向振動が加わる場合は、中間層のバルク体の経験磁場が変化しないため、中間層や最上層には振動が伝達しない。

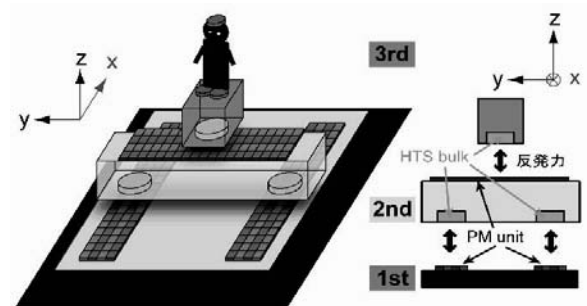


図3 超電導免震装置の基本構成

これに対し、最下層にy方向振動が加わる場合は、中間層のバルク体の経験磁場が大きく変化するため、中間層のバルク体には復元力が働き、中間層は最下層と一緒にy方向に振動する。しかし、中間層の永久磁石ルールがつくる磁場はy方向で均一であり、中間層の永久磁石ルールが変位しても、最上層のバルク体の経験磁場が変化しないため、中間層のy方向振動は最上層には伝達しない。以上の様に、本超電導免震装置では、任意の水平振動に対し振動伝達を抑制できる。ただし、本超電導免震装置を実用化する場合、バルク体の冷却効率を向上させるため、図4の様な構成を採用する必要がある。

本超電導免震装置の妥当性を検証するために、図5の様な小型モデル装置を作製し、最下層に水平方向振動を印加した場合の、中間層および最上層の振動の様子を、レーザー変位計を用いて測定した[1]。その結果が図6である。これより、最下層に印加されているx方向成分とy方向成分を有する水平振動のうち、x方向振動は中間層には伝達せず、y方向振動は中間層には伝達するものの最上層には伝達せず、理論通り、水平振動伝達が抑制されていることがわかる。また、現用の免震装置とは異なり、免震対象物の重量や水平振動の振幅とは無関係に、同様の免震効果が得られることを確認し

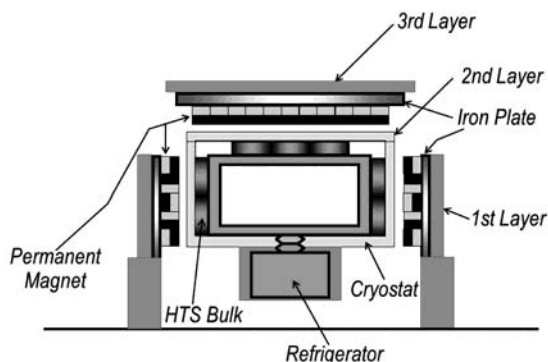


図4 超電導免震装置の構成例

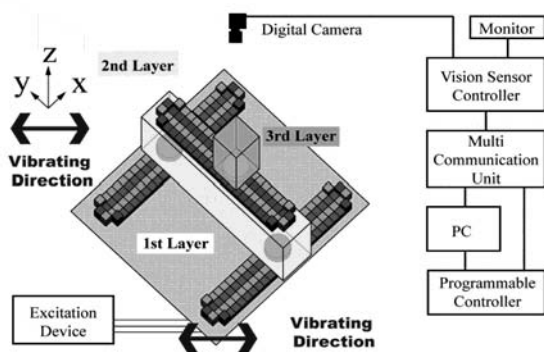


図5 超電導免震原理検証用小型モデル装置

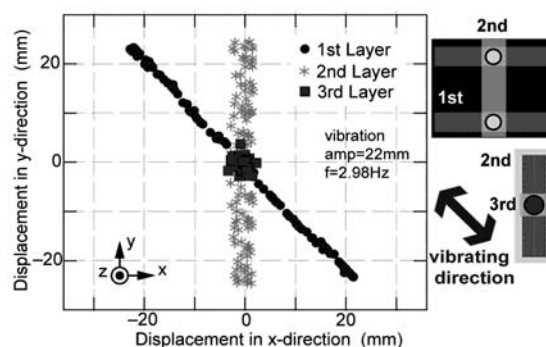


図6 超電導免震原理検証試験結果

ている。本免震装置の採用により、前述の従来型免震装置の6課題のうち、6)除振装置の併用が困難である、を除く5つの課題についてはすべて解決可能となる。しかし、本免震装置の実用化には、①浮上力の改善、②静止安定浮上の実現、③鉛直振動に対する免震効果の改善、などの課題克服が不可欠となる。現在は、以上の課題克服を目指した研究開発を実施している。以下では、その一例を紹介する。

4. 超電導免震装置の実用化に向けた検討

4.1 浮上力の改善

超電導免震装置では、免震対象物を浮上支承させる必要があることから、浮上力の確保が重要となるが、浮上力は、バルク体の大きさ、超電導特性、バルク体周辺の磁場分布、着磁条件など様々なパラメータに依存する。このため、大きな浮上力を得るには、これらのパラメータと浮上力との関係を明確にする必要がある。一般に、バルク体の浮上力は、バルク体位置の磁束密度と磁束密度勾配にほぼ比例するため、大きな浮上力を得るには、バルク体位置の磁束密度と磁束密度勾配を大きくすることが有効となる。このため、表面磁束密度の大きい永久磁石を多数使用することが望ましい。しかし、本超電導免震装置での完全免震は、バルク体位置の磁場勾配がゼロであることによりはじめて実現するものであり、振動伝達抑制と浮上力強化はある意味トレードオフの関係にある。このため、従来のバルク体と永久磁石で構成される磁気浮上システムに適用されている浮上力改善方法を、本超電導免震装置にそのまま適用することができず、永久磁石の発生磁場のうち、1方向の磁場勾配をゼロに保った状態で浮上力を改善しなければならない。図7に、図5の小型モデル装置を用いて、バルク体の着磁高さ(ギャップ)を変化させた場合の浮上力の測定結果と、各免震対象物に要求される浮上力の目安を示す。図7より、浮上力について最適化を行っていない小型モデル装置でも、一般家屋や半導体製造装置の浮上支承を可能とするレベルの浮上力密度(単位

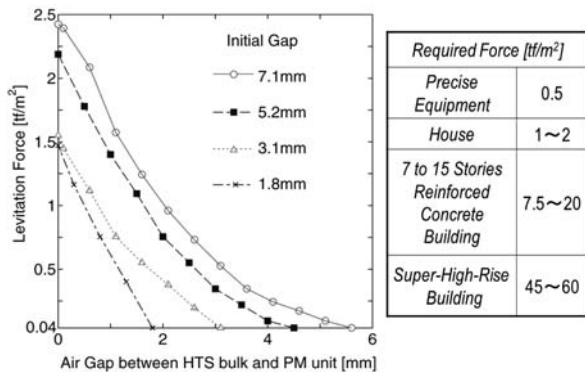


図7 小型モデル装置の浮上力特性試験結果

バルク体底面積あたりの浮上力)が得られることがわかる。しかし、浮上力確保のために、多くのバルク体を使用するのは経済性の観点より得策ではない。これは、バルク体固有の性質とは、“永久磁石と対向させることにより浮上力が得られる”ではなく、“永久磁石上空で静止安定浮上が可能になる”であるためである。すなわち、バルク体は浮上安定性確保のために使用すべきであり、浮上力確保には、バルク体を使用するよりも、永久磁石同士の反発力や吸引力を活用する方が有効である。実際に、直径30 mmの永久磁石とバルク体を用いた浮上力測定を試みたところ、永久磁石を対向させた場合の単位面積あたりの浮上力は、永久磁石とバルク体を対向させた場合の約6倍であった。ただし、永久磁石同士を対向させる場合は、浮上安定性が低下するため、永久磁石を対向させた浮上システムの割合が多くなると浮上安定性の確保が困難となる。そこで、図8に示す様なモデル装置を用いて、ハイブリッドシステム化の有効性について検討した[2]。その結果、ハイブリッドシステムの採用により、浮上安定性を確保しつつ大きな浮上力が得られることがわかった。なお、本超電導免震装置を実用化する場合は、この様なハイブリッドシステムを一つのユニットと考え、本ユニットを多数使用することにより浮上力と浮上安定性を確保すればよい。

図5や図8のモデル装置では、バルク体をスタイロフォーム

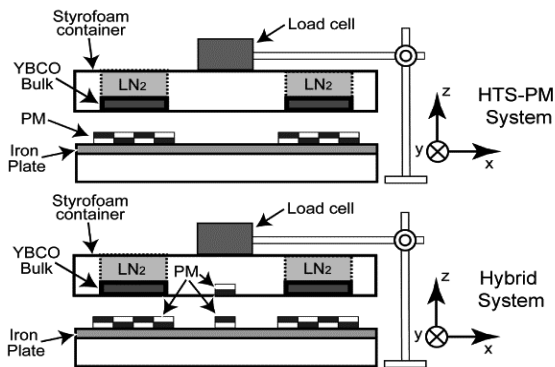


図8 超電導免震装置のハイブリッドシステム化

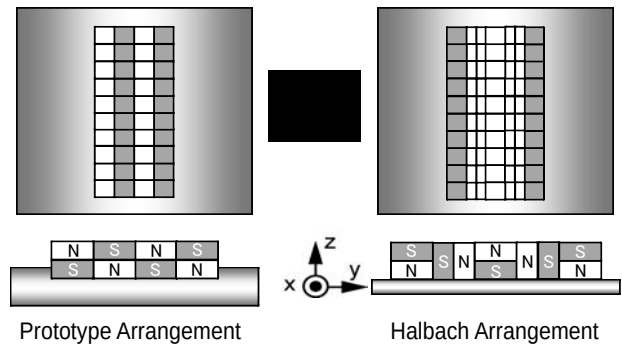


図9 超電導免震装置の永久磁石配列

ーム底面に固定し、液体窒素で冷却しているため、永久磁石とバルク体間のギャップを小さくすることは容易である。しかし、本超電導免震装置を実用化する場合は、長時間の継続運転が前提となることから、バルク体冷却は、液体窒素による浸漬冷却ではなく、冷凍機による伝導冷却が不可欠となる。この場合、バルク体は、真空層を有する低温容器内に収納されることになるため、永久磁石とバルク体間のギャップは、真空層分だけ大きくなる。このため、バルク体の経験磁束密度や浮上力は大幅に減少する。図7で得られた半導体製造装置の浮上支承に必要な浮上力は、バルク体と永久磁石間のギャップが3 mm以下の場合であり、ギャップが5 mmの場合は、浮上力はほぼゼロであった。そこで、図9の様なハルバッハ配列に着目し、永久磁石列を構成する永久磁石の形状や大きさをパラメータとし、永久磁石から離れた位置でも大きな磁束密度が得られる永久磁石構成方法について検討した[3]。その結果、永久磁石とバルク体間のギャップが大きい場合でも、大きな浮上力が得られることを確認している。

4.2 静止安定浮上の実現

本超電導免震装置では、理論上任意の水平振動に対し振動伝達率ゼロの完全免震が可能となるが、これは、免震対象物が地上部の動きに対して独立に動くことを意味しており、免震対象物が屋外にある場合は、強風時に免震対象物が動く可能性がある。このため、本超電導免震装置を実用化する場合は、通常の免震装置と同様に、風などの外力対策を講じる必要がある。アクティブ制御を用いたシステムを採用すれば、このような外力対策を容易に構築できるが、システムの簡素化・低コスト化には、パッシブ型システムの導入が不可欠となる。以上を踏まえ、現在、本超電導免震装置に適した静止安定浮上用システムの検討を行っている。まずは、図5の永久磁石レールを湾曲させた場合について検討を試みた。これにより、永久磁石レールが静止している時には静止安定浮上を実現できたが、永久磁石レールが振動している時には、湾曲した永久磁石レールの最下

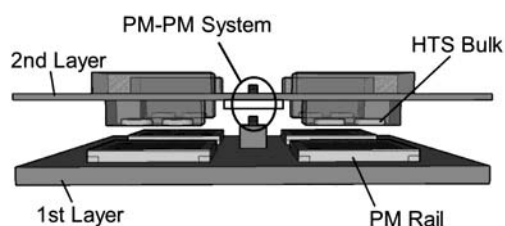


図10 静止安定浮上用システム

点を中心に復元力が働き、この復元力により浮上部に固有周期が発生した。永久磁石レールの湾曲率を調整することにより、固有周期の長周期化は可能であるが、本超電導免震装置の特長である完全免震を実現できなくなるため有効ではない。そこで、現在は、図10に示す様な永久磁石を対向させたシステムについて検討を行っている[4]。これは、磁極の異なる永久磁石を、地上部と浮上部に設置し、両者の吸引力を用いて初期位置での静止安定浮上を実現するものである。ただし、この吸引力が大きいと、永久磁石レールを湾曲させた場合と同様に、初期位置を中心とした復元力が浮上部に働き、浮上部に固有周期が発生する。このため、永久磁石間に銅板を設置し、地震動がない場合は、永久磁石間の吸引力によって静止安定浮上を実現させ、地震動がある場合は、永久磁石間の相対変位により銅板に生じる渦電流の作る磁場によって永久磁石間の吸引力を減少させる方法について検討している。なお、銅板は、永久磁石間の吸引力低減だけでなく、渦電流損失による振動エネルギー吸収の役割も兼ねている。現在、銅板を厚くすることにより、永久磁石間の吸引力を低減でき、振動伝達率を抑制できること、また、振動減衰率も向上することを確認している。ただ、本システムの採用により、永久磁石間の吸引力を低減できているものの、完全にキャンセルするまでに至っていないため、今後は、浮上部への振動伝達をより抑制できる方法について検討する必要がある。

4.3 鉛直振動に対する免震効果の改善

通常、地震被害の多くは横揺れに起因する。直下型地震の場合は縦揺れによる被害が大きくなるものの、地盤も破壊されるため、有効な対策を講じることは非常に困難である。よって、基本的な地震対策は、水平方向振動についてとなり、これには本提案超電導免震装置が大変有効である。しかし、例えば、半導体工場などでは、横揺れによる機器損傷を回避できたとしても、鉛直振動が製造ライン上の半導体に悪影響を及ぼす可能性があることから、可能な限り鉛直振動の伝達を抑制することが望ましい。ただし、鉛直方向については、免震対象物を支承しなければならないため、地上部と浮上部の相互作用を完全に排除することはできない、すなわち、完全免震は不可能である。具体的には、既存の免震装

置と同様に、地上部と浮上部間のバネ定数をできる限り小さくし、両間の減衰定数をできる限り大きくすることが望ましい。図8のモデル装置を用いて、鉛直方向振動に対する振動伝達特性を評価したところ、固有周波数が20 Hz程度となり、地震動の周波数帯域(～5 Hz)では振動伝達率が100%以上となることがわかった[5]。このため、地震動の鉛直振動に対する振動伝達率を低下させるには、バネ定数を現在より大幅に低下させる必要がある。現在、バネ定数を小さくする方法について検討を行っている。

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震に限らず、今後も国内で大地震が発生する可能性は高い。本稿では、バルク体と永久磁石により構成される磁気浮上型超電導免震装置について紹介したが、地震時の物的被害のみならず、地震に対する恐怖心など精神的ストレスの抑制には、任意の水平振動に対し、振動伝達を完全に除去できる本装置は大変有効である。本超電導免震装置を実用化するには、まだ様々な技術課題を克服する必要があるが、地震に対する安全と安心を確保するために、今後も引き続き、早期実用化を目指した研究開発を進めていく予定である。

参考文献

- [1] M. Tsuda, T. Kojima, T. Yagai, and T. Hamajima: IEEE Trans. Appl. Supercond. **17** (2007) 2059-2062.
- [2] M. Tsuda, T. Kawasaki, T. Yagai, and T. Hamajima: Journal of Physics **97**-012104 (2008) 1-6.
- [3] S. Sasaki, S. Shimada, T. Yagai, M. Tsuda, T. Hamajima, N. Kawai, and K. Yasui: IEEE Trans. on Appl. Supercond. **20** (2010) 985-988.
- [4] S. Sasaki, K. Shimada, T. Yagai, M. Tsuda, T. Hamajima, N. Kawai, and K. Yasui: Physica C **470** (2010) 1791-1794
- [5] M. Tsuda, K. Tamashiro, S. Sasaki, T. Yagai, T. Hamajima, T. Yamada, and K. Yasui: IEEE Trans. Appl. Supercond. **19** (2009) 2249-2252.

<震災特集>

東日本大震災について

About the Great East Japan Earthquake

超伝導科学技術研究会会長

下山 淳一

Forum of Superconductivity Science and Technology

President Jun-ichi Shimoyama

3月11日に発生しました我が国の観測史上最強の東北地方太平洋沖地震および繰り返された強い余震は、近代日本の歴史上、最も深刻な自然災害を招きました。また、原発事故による二次的な災害の影響も長期化を免れない状況に至っています。ここに、被災されました方々に心よりお見舞い申し上げます。

今回の大地震ではその直後より関東地方を中心に計画停電をはじめこれまでにない厳しい節電が求められました。そして、福島原発事故、浜岡原発の運転停止によってこの夏にはほぼ全国規模の電力不足が懸念されています。1973年に行われた石油ショックによる節電は中東からの石油輸入への不安に基づいたもので、その後、火力発電用の燃料の石油依存度を下げる対策がとられました。今回の電力不足は、その後の日本の電力供給体制を強く支えてきた原発による発電の急減によるものですから、それを補える分の他の方法による発電設備の拡充が必要になります。さらに、電力システム全体の将来構想についても、大幅な見直しが迫られています。超伝導技術は未来の電力システムにおける新戦力として期待されている一方、これまでの実績がほとんどないことから早期の導入にはやや慎重な扱いを受けざるを得ません。このような機において超伝導科学技術研究会は、まず超伝導技術の現状を広く適切に伝える役割を担い続けます。そして、やがて選ばれる技術となり、社会インフラに溶け込み、エネルギー・環境問題に対して超伝導応用が大きく貢献する時代をできるだけ早く創出すべく、超伝導技術の成長を促す活動を皆様のご理解とご協力を仰ぎながら一層積極的に進める所存でございます。既にご案内の通り、震災の影響で延期しました今年度の本会シンポジウムを6月24日に開催することになりました。午後の部“グリーン・イノベーションと超伝導”での講演、討論は震災後の様々な情勢の変化も盛り込んだ内容となります。多くの皆様のご参加をお待ち申し上げます。

節電や自粛ムードなど、何かと縮みがちな折ではありますが、今年は超伝導100周年の記念すべき年です。これにふさわしい大発見や革新的な材料・機器開発など超伝導科学技術に関わる明るいニュースに期待しつつ本稿を結ぶことにいたします。

(1) 東京大学本郷キャンパスにおける

NMR 装置クエンチの事例紹介

Introduction of quench accident of NMR magnet occurred at Hongo campus of the University of Tokyo

東京大学大学院 工学系研究科

下山 淳一

School of Engineering, The University of Tokyo

J. Shimoyama

3月11日、14時50分頃に到達した大地震において、東京の震度は5強または5弱で、市域全体を見ても構造物そのものの被害は少なかった。なかでも本郷台地の上にある当キャンパスでの建物被害はほとんど無かったようである。もちろん、キャンパス内には高度成長期に建てられた脆弱な建物が数多くあるが、この10年くらいの間にそのほとんどに相次いで耐震補強工事が行われており、この効果もあったと思われる。但し、実際の震動の大きさは同じ建物でも階数や位置によってかなり異なった。今回の地震では2分以上強く揺れたこともあり、上層階では震度5で想定していたよりも多くのものが落下、破損し、また、かなり重い実験装置類も大きく位置を変えたりした。筆者の所属する研究室(5階)では当時、液体ヘリウム冷却の物性測定用超伝導磁石2台と、冷凍機伝導冷却式的大型室温ボアを持つ磁場配向実験用超伝導磁石を運転していたが、幸いにもこれらは本震や直後より繰り返された大きな余震に対しても全く異常なく稼働し続けた。

さて、以下には今回の地震によって起こった工学部5号館におけるNMR装置のクエンチを報告する。まず取材に協力いただいた藤田誠教授、佐藤宗太講師をはじめ藤田研究室の皆様にご感謝の意を表したい。この研究室は工学部5号館の4階に4台のNMR装置を有しており、内訳は600 MHzと300 MHzが各1台、500 MHzが2台で当日も全て運転されていた。このうちクエンチしたのは500 MHzの1台で、他の装置に異常は起きていない。地震発生時にこのNMR装置を使っていた大学院生の池本晃喜氏によれば、ちょうど測定を始めるところで揺れによってシムコイルの調整ができなくなり、NMR装置が大きく横揺れし始めたので実験室から出たとのことであった。図1は16時過ぎに撮影されたこの装置の様子である。装置上部が白くなって未だ安全弁から冷媒ガスが漏れていることがわかる。但し、この時点で磁場は保たれており超伝導磁石がクエンチしたわけではない。さらに時間が経過し20時40分頃になって本格的なクエンチが起こった。図2はその時の様子で、携帯装置で撮影された

動画も見せていただいたが、まさに普通のクエンチであった。このNMR装置は外層に液体窒素槽を持つタイプで、当時、液体窒素槽は80～90%、液体ヘリウム槽(容量69リットル)は75～80%満たされていたそうである。運転下限の液体ヘリウムの量は30～40%であり、冷媒が特に不足していたわけではない。

これらの事実から想像できるのは、最初に受けた強い震動の際に、液体ヘリウムの蒸発量が大きくなって内圧が上昇し、安全弁が開いて外部に漏れ始め、

その後も液体ヘリウムの蒸発が続き、徐々に液面が低下し、運転下限レベル未満になった時に超伝導磁石がクエンチしたということである。まだ、修理が行われていないのであくまでも可能性であるが、この装置を製造し保守しているBruker社によれば、2つの冷媒槽の間の断熱部を支えていたグラスファイバーロッドが折れて液体ヘリウム槽が周囲と接触したのではないかと、いう。ロッドの破損はクエンチした場合に多くみられる現象で、ロッドを太くすると頑丈にはなるが熱侵入が大きくなるため液体ヘリウムの充填頻度(この装置では2～3カ月に1回)が増してしまう、とのことであった。

以上より、この装置だけがクエンチにまで至った主因として、防振・免震の機構が他の装置を異なっていたことが考えられる。図3はこの装置の足元を撮影したものであ



図1 3月11日、16時過ぎにおける500 MHz NMR装置の様子



図2 3月11日、20時40分頃に始まった500 MHz NMR装置のクエンチの様子



図3 震災で落下したKEK電子陽電子リニアックの四極電磁石。ビームパイプ、真空マニフォールドも破断された

る。数cm程度の揺れであれば吸収できるような仕組みになっているようであるが、今回の地震のような大きな変位に対しては適応できず、装置に大きな震動の大部分が伝わってしまったと考えられる。ちなみに他のNMR装置はエアダンパー付きなど、より新しいタイプの防振・免震仕様となっている。

今回の事例は、小型のクライオスタットでも地震によって断熱不良が起こりやすく、かなり後になってクエンチが起こることを示したものである。地震の後に液体ヘリウム槽の残量およびその変化を注視していれば、いずれクエンチが起こることは予想できたと思われるが、一般のユーザーにヘリウム残量を確認する習慣を求めるのは難しい。各所に普及しているNMR装置は狭い部屋に設置されていることも多く、液体ヘリウムレベルの異常な低下を検知し、アラームが鳴るような機能が付けられるべきではないかと感じた。

(2) 産総研つくばセンターにおける超伝導研究現場での震災の影響

Impact of the earthquake disaster on
superconductivity research activities in AIST
Tsukuba center

(独)産業技術総合研究所

伊豫 彰

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

A. Iyo

2011年3月11日(金)の午後、実験室で測定の前準備をしていたところ、地震の初期微動(P波)による小刻みな振動を感じた。暫くして主要動(S波)による揺れが始まった。地震自体は珍しいことでは無いので、すぐに揺れは収まるだろうと高をくくっていたが、その日は違った。次第に揺れが激しくなり、測定装置は大きく揺さぶられ、

計測器や物品が棚から次々に落下するのが見えた。かつて経験したことのない激しい横揺れに中腰で耐えつつ、この地震はただ事では無いと感じた。

断続的に襲い来る大きな揺れの間をみて、建物から外に出た。高い建物が左右に揺さぶられ、道路の端を境目に地面が逆方向に動いているのが見えた。その日は、停電で信号が消えた道路を慎重に運転して帰宅した。茨城県つくば市での震度は、6弱～6強と発表されている。私が見た範囲では倒壊した建物は無かった。

産総研つくばセンターで、危険物質の漏洩などによる周辺地域への影響や人的被害が無かったのは不幸中の幸いであった。私には建物の損傷は一見無いように見えたため、装置さえ壊れていなければ、実験は早期に再開できるのではと期待した。ところが、被害の全容が明らかになるにつれ、地震の影響の重大さを認識させられた。特に、上下水道、研究排水/排気系、ガスラインなどの研究インフラが損傷を受けた。復旧作業により、4/20現在、一部の研究排水/排気系やガスラインを除いた研究インフラについては概ね復旧しつつある。

地震による被害は、同じ建物内でも場所や地震対策の有無によって大きく異なっていた。上の階ほど、揺れが増幅されたと被害が大きかったようである。日頃から耐震対策が進められていたため、棚など倒れやすい物の多くは壁や床に固定されていた。また、本棚の上部には、本の落下防止ロープが取り付けられていた。これらの対策が、地震による被害の軽減に極めて有効であったと感じた。それらの対策が施されてなかったなら、人的被害が出たのではと想像される。一方で、耐震対策が施されていなかった一部の本棚からは、多くの本が落下し足の踏み場もないくらいになった(写真)。幸いにも、地震発生時そこに人はいなかったものの、もし棚の上部からの重量物の直撃を受けたなら、ただでは済まなかったであろう。

我々の研究グループでは、超伝導物質の合成を行っていることから、劇毒物を含む多数の試薬や有機溶剤などを所有している。地震直後、真っ先に心配したのは、それらの容器の破損とそれに伴う火災や劇毒物の漏洩である。幸運にも試料合成室が比較的揺れが小さかった一階に有ったこともあり、試薬瓶などの破損は無かった。ほとんどの試薬が専用の棚に保管されていたことが、事故防止に有効だった。普段からの試薬管理の重要性を改めて認識させられた。

我々の研究室の実験装置について、まだ通電していない装置もあるのではっきりしたことは言えないが、多くの装置について外観上の損傷はほとんど無いことから問題は少ないと見ている。一方で、修理に数ヶ月を要す

る物性測定装置があることも把握している。地震とは別に、福島第一原子力発電所の事故による電力不足の影響も深刻である。一刻も早く実験を再開したいのは山々であるが、節電の要請もあり、実験開始時期や実験内容を検討している状況である。

産総研つくばセンターの他の超伝導関連研究グループに話を聞いたところ、実験装置への震災の影響はそれ程深刻ではないということであった。研究インフラの復旧後、速やかに実験再開できるように準備を進めているとのことである。むしろ、電力不足の影響の方が大きいというのが研究者の共通認識である。超伝導の研究には、冷凍機など多大な電力を消費する装置があり、それらの装置無くして研究はおぼつかない。電力使用量が制限されたり、ましてや計画停電が実施されたりした場合、単結晶育成など長時間の運転が不可欠な実験はできなくなる。その場合、研究の中断や内容の大幅な変更を余儀なくされることになる。産総研では、実験装置ごと電力不足のない地域に移動して、研究を行うことを検討している人もいる。

未曾有の大震災により、東北地方を中心に東日本は大規模な被害を受けた。これが日本の経済活動にも暗い影を落としている。復旧には多大な時間と労力と資金が必要なのは明白である。大震災からの復興に超伝導技術は貢献できるであろうか、超伝導に関わる研究者としてどのように振る舞えばよいのか、実験ができないこの時期にじっくり考えてみたいと思う。最後に、国内外の超伝導研究者から震災の安否確認や励ましのメールや電話を頂いたことに対して感謝したい。大変嬉しかったし、人と人の繋がりを感じることができた。



(写真) 地震直後の居室の様子。棚から落下した本などが通路を埋め尽くしている。

(3) 東日本大震災による KEK 加速器の 被害状況

Damages on the KEK Accelerators by the Great East Japan Earthquake

高エネルギー加速器研究機構

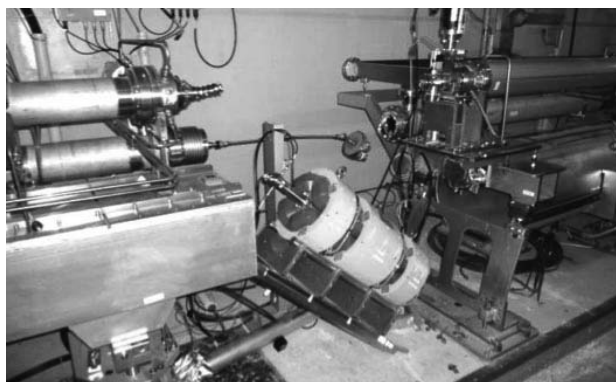
生出 勝宣

High Energy Accelerator Research Organization
K. Oide

まず、今回の東日本大震災において、高エネルギー加速器研究機構のつくば・東海両キャンパスとも、職員・関係企業・共同利用来訪者を含め、人的被害はなかった。3月11日はすべての加速器は朝から停止しており、地震発生時刻においては加速器トンネル内で作業を行っていたところもあったが、全員無事に避難することができた。

機構の建家・トンネルも、いくつかの損傷は出たが、崩壊に至るような致命的な被害は免れている。加速器本体についても、以下に述べるような損傷はあるものの、総じて限定的なものであり、諸条件が許せば早期の運転再開が可能な程度である。ただし、多くの装置は実際に本格的な通電をし、ビーム運転を開始してみないと最終的な損害状況は判定できないので、なお予断を許さない。

まず、つくば地区の加速器では、電子陽電子線形加速器(リニアック、全長600 m)の損害が最大であった。もともとこの加速器の架台は免震構造をもち、一定の振幅内では比較的自由的な振動を許すものであったが、今回は一部区間では想定振幅を超えたため、搭載されていた収束電磁石が落下した(写真)。



(写真) 震災で落下したKEK電子陽電子リニアックの
四極電磁石。ビームパイプ、真空マニフォールドも破断された。

また、加速感同士を接続する真空ベローズも多数変形・破断し、リニアック全長にわたり、大気暴露されてし

まった。それによる加速管(無酸素銅製)の高電界性能の劣化が懸念されたが、今までのところ交換を要するほどの障害は現れていない。リニアックにおいては、被災直後から職員・関係企業の迅速な対応と復旧作業の結果、5月10日には放射光リング(PF/PF-AR)用のビーム調整運転が再開される見込みである。ちなみに、J-PARCのリニアックでも免震構造の部分でセラミック管やベローズの破損が発生しているが、他の「剛構造」の加速器ではそのような損傷は軽微のため、架台構造の耐震性についてはさらなる検証が必要である。

Bファクトリーリング(周長3 km)では、高周波発生装置(クライストロン)の放射冷却装置架台の破損、高周波制御側室のフリーアクセス床の落下、一時保管電磁石の相互衝突による破損などが発生した。また、トンネル内の電磁石も、現在改造建設中の「スーパーKEKB」にとっては数十マイクロンの移動も気になるため、再度の精密設置作業が必要になった。

2つの放射光リングでは高周波加速装置の一部に転倒や位置ずれがあったものの、概ね健全であり、PFリングでは5月中の運転再開が見込まれる。また、超伝導試験加速器(STF)とエネルギー回収型リニアック(コンパクトERL)についても大きな損傷は見られない。試験加速器(ATF)においてはケーブル棚の崩落や一部ベローズの変形などが見られる。

なお、すべてのヘリウム冷凍機については、運転停止中だったこともあり、大きな被害は見つかっていない。

東海地区ではKEKが担当するMRシンクロトロン(周長1,570 m)加速器本体については、一部の軽い真空漏れを除いて大きな損傷は外観上は見られない。トンネル壁面のひび割れによる漏水は30ヶ所以上で発生したが、すでに対応済みである。また、加速器トンネルと副トンネルの接合部に数cm以上の段差が発生しているが、接合ゴムの亀裂には至っていない。上流のリニアック(全長250 m)とRCSシンクロトロン(周長350 m)についても、上記のリニアック真空漏れを除いて、少なくとも加速器本体の外観上の被害は少ない。ただし、受電、水、空調、道路などは一定の損害を受けている。

(4) 東北大学における超伝導関連機器への 東日本大震災の被害状況

Damages of Great East Japan Earthquake on Superconducting Related Devices at Tohoku University

東北大学 金属材料研究所
淡路 智

Institute for Materials Research, Tohoku University
S. Awaji

2011年3月11日14時46分頃、大きな揺れが東北地方を中心とした広い地域を襲った。東北地方太平洋沖地震である。最初、比較的小さい揺れから始まり、徐々にゆっくりとした横揺れが大きくなり、1-2分後から立っていられないほどの大きな揺れへと変化した。強磁場センター3階の居室では、棚の本が次々と落下し、停電となり、地震としては非常に長い時間が経過した後やっと収まった。途中、床や天井が崩れるかと本気で思ったほどである。揺れていた時間は東大地震研の発表では6分程度となっている。地震の規模はマグニチュード9.0、震源地は三陸沖、東北大学のある仙台市青葉区の震度は6弱と発表されている。

しかし揺れの影響は、場所や階層、耐震強度などによって大きく異なっており、金研のある東北大学片平キャンパスは、比較的被害が小さかった。一方で、青葉山キャンパスは被害が大きく、倒壊の危険性が高いため立ち入り禁止となっている建物が少なくとも3棟以上あった。

片平キャンパスにある強磁場センターには、2台のハイブリッドマグネット、3台の液体ヘリウム冷却の超伝導マグネット、8台の無冷媒超伝導マグネットが常時稼働している。しかし、これらの中で地震の時に磁場発生中であったマグネットは、無冷媒マグネット2台だけで、それ以外は冷却されていたが磁場発生をしていなかった。

一般的に超伝導マグネットは、背が高いため転倒の危険性がある。しかし、強磁場センターにある3台の超伝導マグネットは、深さ1.5 mほどのピット内に設置され、マグネットデューワーの上部はデューワーサイズの穴を開けた蓋により固定されているため、転倒などは起きなかった。磁場発生も行っていなかったため、クエンチも起きなかった。その後、1台の正常動作が確認され、残りの2台も特に問題は無いと予想される。

2台の励磁中の無冷媒超伝導マグネットは、停電に伴う冷凍機やマグネット電源の停止によりクエンチした。しかし、液体ヘリウムを用いていないので、クエンチ後はマグネットの温度上昇が起こるだけで、見た目の変化は

ない。そのまま長期間停電が続いたため、無冷媒を含むすべての超伝導マグネットは、一旦室温に戻った。その後の冷却・テストの結果、一部の冷凍機に軽微な故障があったが、強磁場センターのすべての無冷媒超伝導マグネットで、地震前の性能を確認した。

一方で、ハイブリッドマグネット用のヘリウム液化機、水冷マグネット用8 MW電源、6 MWターボ冷凍機(冷却水用)などは、地震後不具合が生じ更新が必要な状況となっている。

このように、東北大金研に於いては、超伝導関連機器の地震による影響は非常に小さかった。5月中にはすべてのマグネットの動作チェックを終了し、6月より一般共同利用を開始する予定である。

一方で、地震の影響あった事例を調べると、同じ片平キャンパスにある極低温科学センター(片平地区センター)では、液化機付属の貯槽から250 l液体ヘリウムベッセルへの注液作業中に地震が起き、ベッセルが地震で傾いた。これに伴い、ベッセルに刺さっていたトランスファチューブが曲がり、抜けなくなった。その後チューブの曲がりを修正して抜いたあと、液体ヘリウムの空気開放を行って放置して事なきを得た。このベッセルは買ったばかりだったが、内槽をぶら下げているネックが曲がったため廃棄処分とした。

比較的被害の大きかった青葉山キャンパスの理学部化学科では、8台ほどのNMR装置があるが、そのうちの400 MHz-NMR装置が転倒した。このとき、クエンチにより大量のヘリウムが吹き出したらしいが、破裂などの大事には至っていない。これ以外にも、東北大学では多くのNMR装置が稼働しているが、上記の転倒した装置以外は、磁場を出したままの状態を維持できていたようである。

超伝導マグネットを用いた物理現象評価システム(PPMS)も東北大には数多く導入されている。そのうち工学部にあるPPMSの1台が転倒したとの報告がある。この場合も、励磁中では無かったため、クエンチは起きていないが、転倒により大量のヘリウムが蒸発したようである。この装置に関しては、これから冷却・テストを行うと聞いている。

青葉山キャンパスにある極低温科学センター(青葉山地区センター)では、液化機に付属する2000 l貯槽内の断熱が破れると言う事態になった。この時、貯まっていた液体ヘリウムが安全弁から一気に吹き出したが、破裂には至っていないとのことである。

上記のような、東北大におけるヘリウム液化システム関連のトラブルにより、液体ヘリウムの供給は9月末までは通常の7割となることが、片平地区センターで発表されている。このため、液体ヘリウムを用いる装置の利用

も、秋口までは制限を受けることとなる。

地震の被害状況から、地震に対する超伝導関連機器における地震対策として考慮すべき点を考えると、①転倒防止をしっかりとしておくこと、②閉塞しないよう逆止弁などの対策をしておくこと、の2点ではなかろうか。

特に基本的に永久電流で用いるNMRやMRIなどの装置では、地震で転倒しなければほとんどが、そのままの状態を維持できるように思える。強磁場超伝導マグネットでさえ、クエンチ点近傍での運転でなければ、多くの場合は停電してもクエンチせずに永久電流モードに勝手に入るか、長時間の磁場減衰に入るため、やはり安全に停止させることができる。再凝縮装置が付いている場合に長時間停電した場合でも、その際のケアを事前に考えておけば、大地震の際にも装置は維持できると考えられる。低温装置の扱いに慣れていない部署の場合には、上に加えて、停電時の寒剤補給方法、強制クエンチ法などのマニュアルを整備し、対応できる専門家の連絡先(業者の他、低温センターなどの低温機器を取り扱っている研究室など)を確認しておくことが重要と感じた。

以上、東北大学における東日本大震災の影響について簡単にまとめ、示唆される地震対策について考えてみた。今回の地震の影響については、必ずしもすべてをカバーできていない点があることを御容赦願いたい。現在、低温工学・超伝導学会では、地震の影響を詳細にまとめる動きがあり、客観的な情報はそちらで明らかとなろう。最後に本記事を執筆するにあたって貴重な情報を頂きました、極低温科学センターの野島勉先生、中村慎太郎先生、工学研究科の小池洋二先生、足立匡先生、理学研究科の落合明先生、山下修治先生に感謝致します。

＜会議報告＞

未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会

第77回ワークショップ

「極限を測る超伝導技術の最前線」

Report on the FSST 77th workshop
“Cutting-edge of superconductive sensing technology”

(財)国際超伝導産業技術研究センター

日高 睦夫

International Superconductivity Technology Center

M. Hidaka

2011年3月10日東京大学武田ホールにおいて「極限を測る超伝導技術の最前線」というテーマで未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会の第77回ワークショップが開催された。一日遅ければ大震災に遭遇することになっていたが、この日はそんな未来も知らず超伝導計測技術のエキサイティングな話を堪能することができた。超伝導体だけが持つ特異な性質は、計測技術との相性が良い。極低温への冷却というコストを払っても余りある性能が得られること、その性能を使って様々な興味深い応用が行われていることが、聴衆に浸透したワークショップであつたと思われる。

産総研の前澤氏が最初の講演で紹介したように、超伝導体を用いた検出器には、SQUID、TES、STJ、SISミキサなど多くの種類がある。被測定信号によって何らかの超伝導状態を変えることによって測定が行われる。被測定信号は磁場、様々な波長の電磁波、粒子など幅広い。また、これらの応用も電気標準、医療、材料分析、量子通信、宇宙観測、大気観測など多岐にわたっている。

産総研金子氏の講演では、量子電気標準を構築するために超伝導デバイスが不可欠であることが述べられた。ジョセフソン効果を用いた直流電圧標準がすでに国家標準として用いられている。超伝導体は巨視的量子効果により、比較的大きなサイズのデバイスで安定した量子効果が得られる。配線で抵抗が発生しないことも標準にとって超伝導を使用することの大きな利点である。現在は、交流電圧標準、電流標準などに向けた研究が進められている。

金沢工大上原教授はニオブ系SQUIDを用いた医療応用を紹介した。SQUID脳磁計は我が国でもすでに数十台医療現場で使用されており、個々人の脳の機能部位を特定することにより、脳手術により削除する範囲が

決定されている。また、認知症の早期診断に有効であることが最近明らかになった。脊髄磁場検査装置はMRIなどの画像では不可能であった神経伝達異常部位特定を非侵襲で行えるため、患者の術前診断の負担を大幅に軽減できる。小動物生体磁場計測装置は毛を剃らずに小動物の心臓が測定できるため、新薬の心臓への影響を調べる実験が大幅に時間短縮できる。

SIIナノテクノロジーの八坂氏は同社が昨年度販売を開始したSEM搭載用TES(超伝導転移端検出器)分析装置とNIMSなどと共同で開発したTEM搭載用TES分析装置について講演した。TES分析装置は従来法と比べて感度が一桁高く、従来はピークが重なり分離できなかった元素を明確に分離できるため、元素の同定を正確に行うことができる。これを用いれば、例えば鉄鋼材の中でレアメタルがどこに存在するとどういった性質が現れるかを詳しく調べることができるため、レアメタルの効率的な利用に役立つものと期待されている。この手法の問題点はTESの有感面積が小さいため、測定に時間がかかることにあり、TESのアレイ化による有感面積増加が望まれている。

NICTの藤原氏は受光装置としてSSPDという超伝導検出器を用いた量子鍵配送技術について紹介を行った。これは暗号鍵を単一光子を用いて量子化することで、完全に安全な通信を行う技術である。SSPDはNbNの薄膜を用いており、半導体検出器と比べて検出効率が高く、暗計数率が低く、スピードが速い。SSPDは冷凍機とともに装置化されており、これを用いて都心の4地点を結んだデモンストレーションが昨年行われた。アレイ化による高速化と高感度化などの性能向上が今後の課題

である。

KEKの羽澄教授から超伝導検出器を用いたCMB(宇宙マイクロ波背景放射)観測の話があった。CMBを詳しく調べることで、今までに宇宙の年齢や宇宙にある物質の大部分は暗黒物質や暗黒エネルギーと呼ばれる正体不明のものであることが解明されている。さらに高い感度でCMBの偏光を観測できれば、ビッグバン以前に空間が急激に膨張したインフレーションの検証を行うことができる。このために、POLARBEARと呼ばれる地上観測装置とLiteBIRDと呼ばれる衛星を使った観測が計画されている。いずれもアレイ化された超伝導検出器の開発が鍵となる。この用途ではイメージングのために、アレイ化された検出器のどこに信号が入射されたかを知る必要があるため、入射場所を特定しつつ多数の出力の多重化が可能となるMKIDと呼ばれる検出器が研究されている。

JAXAの佐野氏は超伝導ミキサを用いて衛星から地球大気を観測するSMILESについて講演した。SMILESは一日に約1,600地点で大気成分の高度分布を観測するため、各高度の観測時間は0.5秒と短く、これに対応するため高感度の超伝導検出器が必須となる。残念ながら局所発信器の故障のためSMILESは予定の半分の半年間しか観測できなかったが、これまでにない精密な大気放射スペクトルを観測することができた。現在観測されたデータの解析が行われている。

今回のワークショップで講演された超伝導検出器の応用はいずれも興味深いものであり、今後の発展が期待される。

社団法人未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会
第 37 回シンポジウム／第 15 回超伝導科学技術賞授賞式
「超伝導 2011 ―新たな 100 年の幕開け―」

今回のシンポジウムでは、超伝導マグネット関連技術や超伝導でしか実現できない先端計測技術に関する講演に加えて、午後の部では、＜グリーン・イノベーションと超伝導＞と題し、グリーン・イノベーションに向けた科学的な取り組みを俯瞰しながら、その中で超伝導技術開発と応用の方向性を考えます。低炭素社会実現へ向けた技術開発への我が国としての政策的取り組みなどを御紹介いただくとともに、2050年の社会を想定した科学技術振興機構(JST)の先端的低炭素化技術開発事業(ALCA)における「超伝導システム」及び戦略的イノベーション創出推進(S-イノベ)における「超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」での研究開発の方向性についても御紹介いただきます。皆様には、我が国の目指すところと、そこで超伝導材料・機器が活躍するためにどのような開発が必要となるかについて一緒に議論する機会となることを期待しています。本シンポジウムは、超伝導だけでなく、環境、エネルギーなど様々な研究に携わる方々にも、さらには科学技術に関心ある一般の方にとっても非常に有意義なものと思えます。

多数の皆様のご参加をお待ちしております。

主 催： 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

協賛団体： 応用物理学会、低温工学・超電導学会、日本物理学会、科学技術振興機構

日 時： 平成 23 年 6 月 24 日(金) 10:00-17:30

会 場： タワーホール船堀 小ホール(東京都江戸川区船堀 4-1-1 TEL 03-5676-2211)

<http://www.towerhall.jp/4access/access.html>

参加費・資料代：

区 分	参加費	講演集代
超伝導科学技術研究会会員	無 料	2,000 円
一 般	5,000 円	2,000 円
学 生(要学生証提示)	無 料	2,000 円
協賛団体会員	4,000 円	2,000 円

プログラム (案)

10:00-10:10	開会の挨拶	超伝導科学技術研究会会長 下山 淳一
10:10-11:00	基調講演 (仮)超伝導マグネット技術	横浜国立大学 塚本 修己
11:00-11:30	受賞講演 (仮)先進的プラズマ実験装置用高温超伝導磁石の開発	東芝 水牧 祥一
11:30-12:00	受賞講演 (仮)超伝導センサーによる真の質量分析の実現	産業技術総合研究所 大久保 雅隆
12:00-12:30	超伝導科学技術賞授賞式	

昼食休憩・展示ポスター見学 (60分)

＜グリーン・イノベーションと超伝導＞

13:30-13:40	イントロダクトリートーク	物質・材料研究機構 北口 仁
13:40-14:10	経済産業省	産業技術環境局研究開発課研究開発調査官 竹村 文男
14:10-14:40	国土交通省	鉄道局技術企画課技術開発室総括 竹島 晃
14:40-15:10	文部科学省	研究開発局環境エネルギー課地球観測推進専門官 湯本 道明

休憩・展示ポスター見学 (20 分)

15:30-16:00	JST 先端的低炭素化技術開発事業	科学技術振興機構 佐藤 雅裕
16:00-16:30	JST 戦略的イノベーション創出推進	PO 佐藤 謙一
16:30-17:25	パネルディスカッション	コーディネーター 産業技術総合研究所 小原 春彦 パネリスト 講演者、東大 下山他
17:25-17:30	閉会の挨拶	未踏科学技術協会理事長 木村 茂行

参加申込： こちらの HP からお申し込み下さい。⇒ <http://www.snnt.or.jp/~fsst/20110624.html>

問 合 先： (社)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 担当：大貫

〒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 E-Mail: fsst@snnt.or.jp

研究会の動き

〔平成 23 年 (2011 年) 1 月 1 日～平成 23 年 (2011 年) 3 月 31 日〕

第 15 回超伝導科学技術賞審査委員会

平成 22 年度第 2 回

日 時：平成 23 年 2 月 2 日 (水) 13:30～15:15

場 所：NIMS 東京事務所 会議室

出席者： 委員 10 名 事務局 1 名

議 事：

- (1) 第 15 回超伝導科学技術賞の確定
- (2) 第 15 回超伝導科学技術賞の授賞理由の検討

出席者数：49 名

プログラム：

- 13:30-13:35 「開会の挨拶」
下山 淳一 (東京大学)
- 13:35-14:20 「わかったつもりになる超伝導検出器」
前澤 正明 (産業技術総合研究所)
- 14:20-14:50 「超伝導技術を用いた量子電気標準の進展」
金子 晋久 (産業技術総合研究所)
- 14:50-15:20 「高感度 SQUID の医療応用」
上原 弦 (金沢工業大学)
- 15:20-15:50 「透過型電子顕微鏡の X 線分析装置としての超伝導遷移端センサの応用」
八坂 行人
(エスアイアイ・ナノテクノロジー)
- 16:10-16:40 「超伝導単一光子検出器を用いた量子鍵配送技術」
藤原 幹生 (情報通信研究機構)
- 16:40-17:10 「超伝導検出器によるビッグバン以前の宇宙観測」
羽澄 昌史
(高エネルギー加速器研究機構)
- 17:10-17:40 「超伝導サブミリ波リム放射サウンド (SMILES) - 超伝導技術が実現した、地球を見つめる目 -」
佐野 琢己 (宇宙航空研究開発機構)
- 17:40-17:45 「閉会の挨拶」
木村 茂行 (未踏科学技術協会)

幹事会

平成 22 年度第 6 回

日 時：平成 23 年 2 月 2 日 (水) 15:15～17:15

場 所：NIMS 東京事務所 会議室

出席者： 幹事 9 名 事務局 1 名

議 事：

- (1) 第 77 回ワークショップについて
- (2) 第 78 回ワークショップについて
- (3) 第 15 回超伝導科学技術賞について
- (4) 第 37 回シンポジウムについて
- (5) 第 15 回日米ワークショップについて
- (6) 平成 22 年度収支決算見込み及び平成 23 年度収支予算について
- (7) 平成 23 年度事業計画について
- (8) FSST NEWS について

第 77 回ワークショップ

日 時：平成 23 年 3 月 10 日 (木) 13:30～17:45

場 所：東京大学 本郷キャンパス 武田ホール

テーマ：「極限を測る超伝導技術の最前線」

超伝導科学技術研究会 編集委員会 委員

松本 明善	(独)物質・材料研究機構 超伝導線材ユニット 主任研究員	小泉 勉	昭和電線ケーブルシステム(株) 技術開発センター 超伝導線材開発グループ 主査
荒井 有気	(公財)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 研究員	日高 睦夫	(財)国際超伝導産業技術研究センター 超伝導工学研究所 低温デバイス開発室 室長
伊豫 彰	(独)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 主任研究員	木村 茂行	(社) 未踏科学技術協会 理事長
		大貫留美子	(社) 未踏科学技術協会

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／秋季	H23.8.29～9.2	山形大学 小白川キャンパス (山形県山形市)	応用物理学会
電子情報通信学会 ソサイエティ大会	H23.9.13～9.16	北海道大学 (札幌市)	電子情報通信学会
日本物理学会／秋季	H23.9.21～9.24	富山大学 五福キャンパス (富山県富山市)	日本物理学会

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
Cryogenic Engineering Conference & International Cryogenic Materials Conference (CEC/ICMC)	2011.6.13～6.17	Spokane, Washington (USA)	http://www.cec-icmc.org/
26th International Conference on Low Temperature Physics - Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences(LT-26)	2011.8.10～8.17	Beijing (China)	http://lt26.iphy.ac.cn/
22 nd International Conference on Magnet Technology (MT-22)	2011.9.12～9.16	Marseille (France)	http://www.mt22.org/
Superconductivity Centennial Conference (EUCAS/ISEC/ICMC)	2011.9.18～9.23	Hague (Netherlands)	http://www.eucas2011.org/

