九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

九州大学百年史 第7巻 : 部局史編 IV

九州大学百年史編集委員会

https://doi.org/10.15017/1801803

出版情報：九州大学百年史. 7, 2017-03-31. 九州大学
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

第 40 編

超伝導システム科学研究センター

第 1 章　初めに

超伝導現象（Superconductivity）は 1911（明治 44）年にライデン（Leiden）大学のヘイケ・カメルリング・オネス（Heike Kamerlingh Onnes）により発見された。超伝導状態が発現する量子力学的機構の解明は物理学における難問であったが、1957（昭和 32）年になって初めて解明された。これを契機として、超伝導現象の工学的応用に関する研究開発が 1960 年代の後半から開始された。超伝導状態では電気抵抗がゼロになるとともに多くの量子現象が出現するため、これらの特性を用いた先端電気・電子機器の開発研究が開始された。1966（昭和 41）年には米国の電気電子学会（IEEE）の主催による応用超伝導会議（Applied Superconductivity Conference：ASC）の第 1 回会議が開催され、超伝導技術を用いた高磁界マグネット・先進電気機器・精密計測機器等の開発研究が加速された。

九州大学においては、電子工学科の入江冨士男教授と山藤馨教授が超伝導現象の工学的応用に関する研究をその萌芽期から開始した。超伝導システム科学研究センターは両教授のそれまでの実績を基に、九州大学における超伝導研究を強力に推進するため、学内の超伝導関連研究者の協力を得て 1983（昭和 58）年に超電導マグネット研究センターとして設立された。発足して以来三十有余年の歴史を持ち、これまでに多くの超伝導関連研究者が参画して世界的に注目される多くの先駆的研究を推進するとともに、この分野の研究者・技術者を多数育成してきた。これにより、超伝導現象の基礎から応用システムに及ぶ幅広い研究を行う、国際的にも有数の研究拠点として高く評価されている。

超伝導システム科学研究センターでは、超伝導基礎科学と超伝導システム工学が複合した「超伝導システム科学」分野における中核的研究拠点の形成

を目指し、先端的・国際的研究を行うとともに、これらの科学技術の融合分野・関連分野との共同研究を推進している。

なお、Superconductivity の術語としては「超電導」と「超伝導」の 2 つがともに用いられている。「電気伝導」の「電」と「伝」のどちらかを用いるかであるが、最近は「伝」が多く用いられている。後述するようにセンターの第 1 期では「超電導」を用い、その後は「超伝導」の術語を用いている。

第 2 章　センターの変遷

第 1 節　センター設立以前

九州大学においては、電子工学科の入江冨士男教授と山藤馨教授が 1960 年代の後半から超伝導現象の工学的応用に関する研究を開始した。超伝導現象の大きな利点の 1 つは抵抗がゼロ、すなわち無損失で大電流を流せることであり、これを利用した高磁界マグネットの開発研究が世界的に開始された。しかしながら超伝導状態で流せる無損失電流（超伝導電流）に関する物性的機構は当時未解明であった。両教授はこの問題に取り組み、1967（昭和 42）年に超伝導電流の大きさ（臨界電流）を決める磁束ピンニング機構の概念を明らかにするとともに、Irie-Yamafuji モデルを提唱し超伝導電流の理論的評価を初めて可能とした。磁束ピンニングに関する論文の表紙を図 40-1 に示す。このピンの概念は工学応用の基礎となるものであり、現在実用化されている医療用 MRI や加速器用マグネット等の超伝導機器を開発する際の基幹を成すものとなっている。

また、磁束ピンニングをテーマにした国際会議が 1974（昭和 49）年から開催されてきたが、入江・山藤両教授はこの会議の主要メンバーとしてその運営に大きく貢献した。研究分野を磁束のピン止め機構と臨界電流の改善に特化し、研究成果を集中的に議論するものとして発足した。この会議は 2003（平成 15）年までに日米欧の各国で合計 11 回開催されたが、その内 3 回は日本（福岡・北九州・東京）で開催された。1985（昭和 60）年に福岡で開催された第 4 回国際ピン会議の集合写真を図 40-2 に示す。これらの活動を通して九州大学が磁束ピンニングに関する世界的に有数の研究拠点であるとの評価を得た。

Volume 25A, number 5　　PHYSICS LETTERS　　11 September 1967

ON THE CONCEPT OF PINNING FORCE IN TYPE II SUPERCONDUCTORS

K. YAMAFUJI and F. IRIE
Department of Electronics, Kyushu University, Fukuoka, Japan

Received 3 August 1967

図 40-1 磁束ピンニングに関する概念を提唱した論文

図 40-2 福岡で開催された第 4 回国際ピン会議の集合写真（1985 年）

これらの成果を基に、九州大学における超伝導研究をさらに発展させるために、入江・山藤両教授が中心となって 1980（昭和 55）年に「超電導工学実験室」が設立された。この超電導工学実験室が超伝導システム科学研究センターの前身であり、九州大学および九州地区の超伝導関連研究者の協力を得て、超伝導研究を推進することになった。

超電導工学実験室の発足に伴い、図 40-3 に示す実験棟が新たに建設された。図の奥側の建物が実験棟であり、3 階建て総面積 978 m^2 である。1 階には高磁界超電導マグネットの研究設備とともに、図 40-4 に示すヘリウム液化装置等が設置された。液化装置は当時としては高性能な 60 L/hour の液化能力を持ち、これにより、多量の液体ヘリウムを用いた実験が可能となった。2 階には超伝導機器や低温関係の測定装置が設置された。また、3 階には超伝導材料や超伝導物性を解析するための評価装置が設置された。これらの装置を用いて学内外の超伝導関連の研究者が研究を推進した。

図 40-3 超電導工学実験室の外観（1980 年）

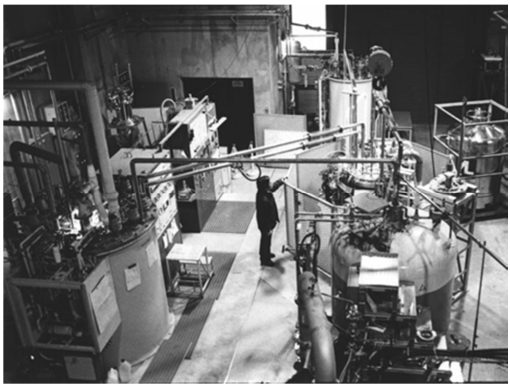


図 40-4 ヘリウム液化装置（1986 年）

なお、超電導工学実験室ができてからセンターに移行するまでの期間（1980～82 年度）には、実験室の研究に関連した連絡会として「九州地区超電導マグネット研究懇談会」が設立された。この懇談会には、九州大学工学部内の電子・電気・冶金・応用化学・機械・動力機械の各学科、理学部物理学科・総合理工学研究科エネルギー変換学科、鹿児島大学・大分大学・佐賀大学・長崎大学・近畿大学・福岡工業大学の研究者が多数参加し、超伝導

マグネットに関する研究を推進して、センター設立の原動力となった。

第 2 節　工学部附属超電導マグネット研究センター

超電導工学実験室での成果を経て、超伝導マグネット技術の基礎研究を主として推進するため、文部省の省令施設として「工学部附属超電導マグネット研究センター」が 1983（昭和 58）年に設置された。当時は高エネルギー物理や核融合に用いる高磁界マグネットの研究開発が重要な課題となっており、この要請に応えるかたちで設置された。設置期間は、1993（平成 5）年までの 10 年時限である。センターには教授 1・助教授 1・技官 1 が専任として配置され、超電導工学実験室の建屋と設備を継承して、電子工学科・電気工学科・機械工学科等の教官の協力を得て、超伝導研究を推進した。超電導マグネット研究センターの看板の写真を図 40-5 に示す。

なお、図 40-3 の手前の煉瓦造りの建物は通信工学科の高周波実験室であり、学生実験に使用されていたものを、センターの設立とともに関連の研究者のための研究棟として借用して、超伝導研究が開始された。

センターでの研究の詳細は第 3 章で示すが、金属系超伝導体の電磁現象の基礎となるピン止め機構や多芯線の交流損失機構の解明に関する先駆的研究を行い、超伝導マグネット開発の基礎を確立した。また、超伝導マグネットの工学的応用として、超伝導エネルギー貯蔵装置（SMES）の電力系統への適用実験を世界で初めて実施した。

また、1986（昭和 61）年には酸化物高温超伝導体が発見され、これまで液体ヘリウム温度に限定されていた超伝導現象の応用が液体窒素温度で可能となった。これにより、超伝導応用の際の機器冷却の障害が大幅に軽減されることになり、超伝導現象の応用範囲が飛躍的に拡大することが期待された。このため、酸化物高温超伝導体の工学的応用のための基礎研究も推進した。

また、1974（昭和 49）年から数十年間に亘り、ベルリン・フリッツハーバー研究所およびベルリン自由大学（独）との国際共同研究を推進した。この間に多くの若手研究者が海外留学し、国際交流の先駆けとなった。これらの超伝導研究の業績により、1986（昭和 61）年に入江冨士夫名誉教授へ紫綬褒章が授与された。

図 40-5 工学部附属超電導マグネット研究センターの看板（2005 年）

なお、第 1 期の時限を迎えるに当たり外部評価委員会を設置し、センターにおける研究・教育活動について評価を受けた。その結果、所期の目標を達成していること、さらに幅広い超伝導応用に係る基礎研究を進める新規の研究拠点が期待できること等の評価を得て、次期の超伝導科学研究センターに継続することとなった。

第 3 節　超伝導科学研究センター

1993（平成 5）年には、それまでの成果を継承・発展させるかたちで「超伝導科学研究センター」として改組された。当時は、1986（昭和 61）年に発見された酸化物高温超伝導体を工学的に応用可能にするための材料・物性研究や高温超伝導体を用いたデバイス・機器の開発研究が重要な課題となっており、センターもこの要請に応えるかたちで改組した。設置期間は、2003（平成 15）年までの 10 年時限である。新たに技官 1 名の増員が認められ、センター組織は教授 1・助教授 1・助手 1・技官 2 の構成となった。

なお、大学の組織改革に伴い、1999（平成 11）年には工学部附属から大

学院システム情報科学研究科附属となり、さらに学府・研究院制度の発足に伴って、その翌年より大学院システム情報科学研究院附属となった。

センターでの研究の詳細は第 3 章で示すが、第 1 期の成果を継承・発展させて金属系超伝導材料の特性改善と電力機器応用の研究を行った。人工ピン導入による高電流密度 NbTi 極細多芯線の開発や交流用 NbTi 撚線導体の最適設計法等の先駆的研究を推進し、金属系超伝導材料の特性改善に大きく貢献した。

また、酸化物高温超伝導体の工学応用に向けて、物性解明と機器開発の研究を推進した。金属系超伝導体のピン止め機構の理論を発展させ、高温超伝導体の電流輸送機構を定量的に記述することを初めて可能にし、高温超伝導体を工学応用するための基礎を確立した。これらの成果を基に、高温超伝導線材（Bi-2223 銀シース多芯線）を用いた液体窒素冷却超伝導変圧器を世界に先駆けて開発した。

なお、国内では高温超伝導技術の産業応用への展開を目指す国際超電導産業技術研究センター（ISTEC）が 1988（昭和 63）年に設立され、その研究組織として超電導工学研究所（SRL）が設置された。このため、超電導工学研究所との密接な連携研究により、高温超伝導線材の高性能化のための基礎研究を行った。

また、酸化物超電導材料が発見されて多くの国で超電導技術分野への関心が高まったことがきっかけとなって、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission：IEC）の中に超電導委員会（TC90）が 1990（平成 2）年に設置され、超電導技術分野の国際標準化の作業を開始した。センターの教員も委員として参加し、交流損失測定法の国際標準化に貢献した。

なお、第 2 期の時限にあたり国際評価委員会を開催し、これまでのエネルギー分野を中心とした基礎研究の成果と学内外での強力な研究協力体制を活かすことにより、基礎科学分野・エネルギー分野・エレクトロニクス分野に

広がる包括的な研究センターが期待できるとの評価を得て、次期の超伝導システム科学研究センターに継続することとなった。

第 4 節　超伝導システム科学研究センター第 I 期

2003（平成 15）年には「超伝導システム科学研究センター」として改組された。センターの看板の写真を図 40-6 に示す。これまでの成果を発展させ、超伝導基礎科学と超伝導システム工学が複合した「超伝導システム科学」分野における中核的研究拠点の形成を目指して改組された。設置期間は、2013（平成 25）年までの 10 年時限である。なお、大学の法人化に伴い、文部省の省令施設から九州大学の学内共同教育研究施設となり、九州大学における超伝導関連研究の研究拠点として発足することとなった（資料編Ⅲ－696、pp. 286-288）。このため、大学院システム情報科学研究院・工学研究院・総合理工学研究院に所属する教員が併任（複担）としてセンターに参画することとなった。センター内に設置した部門と研究分野を表 40-1 に示す。同表に示すように、4 部門（教授 4 名・准教授 4 名・技術職員 2 名）の構成となっており、高温超伝導体の基礎・材料科学の進展と次世代情報・エネルギーシステム構築のための基礎研究を推進した。

図 40-6 超伝導システム科学研究センターの看板（2005 年）

これまでの 2 期のセンターを経てこの第 3 期のセンターへの拡充・改組の背景として、第 1 節で記載した「九州地区超電導マグネット研究懇談会」に

表 40-1 超伝導システム科学研究センター第 I 期の部門と研究分野

部門名	研究分野
超伝導基礎科学部門	・超伝導導体の高性能化研究 ・新領域開拓に向けた萌芽研究
超伝導材料科学部門	・超伝導体の組織構造解明 ・超伝導材料プロセス
超伝導情報システム工学部門	・次世代の情報・センシング機器開発 ・超伝導エレクトロニクス
超伝導エネルギーシステム工学部門	・高効率・高機能な超伝導機器開発 ・高度エネルギー応用の基盤研究

図 40-7 伊都キャンパスに移転した超伝導システム科学研究センター（2005 年）

端を発する学内の多くの研究室の枠を超えた研究体制や九州・西日本地区の大学における研究グループとの共同研究、協力体制の構築・発展の寄与が特筆される。

なお、九州大学の移転により、センターも 2005（平成 17）年には箱崎地区から伊都地区へと移転した。伊都キャンパスに移転した超伝導システム科学研究センターの写真を図 40-7 に示す。センターは南棟と北棟からなり、総面積は 1436 m^2 である。南棟では超伝導導体や電力機器の開発のための研究が行われている。北棟は 2 階建てであり、1 階では超伝導物性の精密測定や超伝導エレクトロニクスの研究開発が行われている。また、2 階はセンター所属の教員の研究室となっている。南棟で

図 40-8 超伝導システム科学研究センター内部の様子（2006 年）

のセンター内部の様子を図 40-8 に示す。

超伝導システム科学研究センターに設置された主要設備を図 40-9 に示す。これらの設備を用いて、高温超伝導材料の特性改善と次世代情報・エネルギーシステム構築のための基礎研究を 4 つの部門により推進した。「超伝導材料科学部門」では高温超伝導体のミクロ構造と超伝導特性の関係を明らかにするとともに、人工ピンの導入により大幅な特性改善が可能となることを示した。「超伝導基礎科学部門」では、高温超伝導線材内の損失発生を可視化する技術を世界に先駆けて確立し、損失機構の詳細な解明を可能とするとともに、高品質線材のためのプロセス改善へと大きく貢献した。「超伝導情報システム工学部門」では、世界最高級の感度を持つ高温超伝導 SQUID センサを開発するとともに、同センサを用いた高感度バイオ免疫検査装置を世界に先駆けて開発した。「超伝導エネルギーシステム工学部門」では高温超伝導機器開発に取り組み、限流機能付変圧器や超伝導モーターを世界に先駆けて開発した。

また、高温超伝導技術の産業応用への展開を目指した国家プロジェクト（NEDO プロジェクト）に参画し、超電導工学研究所や企業との連携研究を推進した。さらに、国際電気標準会議（IEC）の中に設置された超電導委員会（TC90）における超伝導関連技術の国際標準化において、交流損失測定法の作業グループ WG9 の責任者としてその国際標準化を主導した。

なお、センターの 3 期目の時限にあたり国際評価委員会を開催し、センターが超伝導現象の基礎から応用システムに及ぶ幅広い研究を推進している国際的にも有数の研究拠点であるとの評価を得るとともに、今後の超伝導システムの実現のための提言を受けた。この提言の下に、第Ⅱ期の超伝導システム科学研究センターに継続することとなった。

図 40-9 超伝導システム科学研究センターの主要設備（2010 年）

第 5 節　超伝導システム科学研究センター第Ⅱ期

2013（平成 25）年には第Ⅱ期目の「超伝導システム科学研究センター」として引き継がれた。設置期間は、2023（平成 35）年までの 10 年時限である。表 40-2 に示すように「材料科学部門」「応用物性部門」「エレクトロニクス部門」「機器工学部門」「先進電気システム工学部門」の 5 部門（教授 6 名・准教授 5 名・技術職員 2 名）により構成され、超伝導現象の基礎から応用システムに及ぶ幅広い研究を行う世界的に有数な研究拠点として活動している。

表 40-2 超伝導システム科学研究センター第Ⅱ期の部門と研究分野

部門名	研究分野
材料科学部門	・超伝導材料、プロセス技術 ・ナノ構造解析・制御
応用物性部門	・ボルテックスサイエンス ・高電流密度・低損失導体
エレクトロニクス部門	・高性能デバイス・センサ ・先端計測システム
機器工学部門	・電力システム用機器 ・高磁界マグネット
先進電気システム工学部門	・エネルギーシステム ・医療・バイオシステム

なお、歴代の超伝導センター長は以下の通りである。

入江冨士男教授（1983～1985 年）

山藤馨教授　　（1985～1991 年）

野中作太郎教授（1991～1993 年）

竹尾正勝教授　（1993～1998 年）

船木和夫教授　（1998～2009 年）

圓福敬二教授　（2009 年～ ）

また、センターに所属した教員と職員は以下の通りである。

竹尾正勝教授、船木和夫教授、大城佳作教授、笹田一郎教授、
圓福敬二教授、向田昌志教授、金子賢治教授、木須隆暢（たかのぶ）教授、
岩熊成卓（まさたか）教授
森信幸准教授、柁川（かじかわ）一弘准教授、井上昌睦准教授、前畑京介准教授、
寺西亮准教授、吉田敬准教授
佐藤誠樹技術職員、松尾政晃技術職員

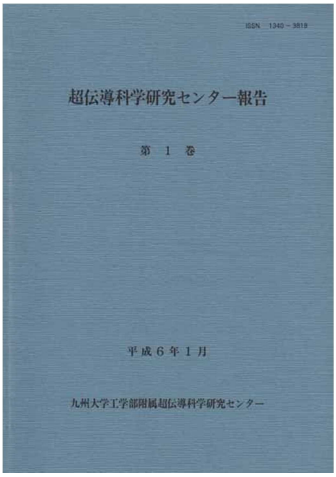
第 3 章　教育・研究の活動

超伝導センターでは、超伝導基礎科学と超伝導システム工学が複合した「超伝導システム科学」分野における中核的研究拠点の形成を目指した教育・研究活動を推進している。このため、超伝導応用のための基盤となる超伝導現象の解明と、その成果を基にした超伝導機器開発を研究の両輪としてきた。このような工学的視点から超伝導研究を行う研究拠点としては国際的にも有数であり、高い評価を得ている。これまでに多くの先駆的研究成果を挙げるとともに、産学連携の大型プロジェクト研究の推進により超伝導機器開発のための基盤技術を確立してきている。また、この分野の研究者・技術者の人材育成に大きく貢献してきている。

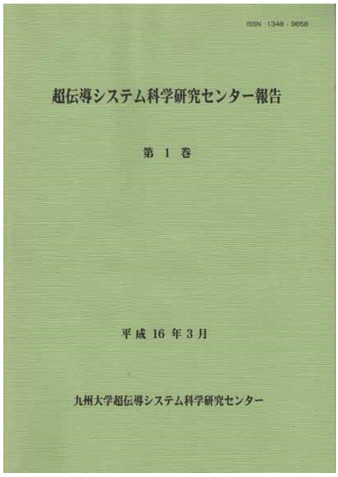
なお、センター活動の成果を発信するため、「センター報告」を毎年発行し、国内の主要研究機関や企業に配布している。代表的なセンター報告の表紙を図 40-10 に示す。センター報告にはセンターに所属する教員のみならず、共同研究を行っている多くの研究機関からの成果も掲載されており、超伝導関連の最新の情報を提供している。

(a)

(b)



(c)



(d)

図 40-10 センター報告の表紙

(a) 九州地区超電導マグネット研究懇談会報告（1983 年）
(b) 工学部附属超伝導マグネット研究センター報告（1984 年）
(c) 超伝導科学研究センター報告（1994 年）
(d) 超伝導システム科学研究センター報告（2004 年）

第 1 節　工学部附属超伝導マグネット研究センター

センターの第 1 期（1983～93 年）では、超伝導マグネット技術の基礎研究を推進した。金属系超伝導体の電磁現象の基礎となるピン止め機構や多芯線の交流損失機構の解明に関する先駆的研究を行い、超伝導マグネット開発の基礎を確立した。

また、1985（昭和 60）年には複合多芯線超伝導導体を用いて、当時世界最高級の高磁界をクエンチなし発生できる高磁界マグネットを開発することに成功した。その写真を図 40-11 に示す。高磁界マグネットは外層側からそれぞれ NbTi バイアスマグネット、Nb_3Sn バイアスマグネット、$[Nb(+Ti)]_3Sn$ 内層マグネットより構成され、有効内径 100 mm 中に 16 T の磁界発生を可能としている。この 100 mm の空間に $Nb_3Sn(+Ti)$ ブースターコイルを挿入することにより、当時世界最高級の高磁界 17.1 T（4.2 K）をクエンチなしに発生する。

さらに、1990（平成 2）年には九州電力との共同研究により、超伝導エネルギー貯蔵装置（SMES）を有浦川発電所の実系統に連系し、その適用実験を世界で初めて実施した。この成果を発展させて、SMES の大型化研究がなされた。九州電力の今宿変電所構内に設置した 1 kWh/1 MW 級の SMES 実験装置の全景と、これを構成するモジュール型超伝導パルスコイルの写真を図 40-12 に示す。この実験装置を用いて、系統安定化試験および瞬時電圧低下補償試験を実施し、その有効性を実証した。

また、超伝導のエレクトロニクスへの応用研究も推進し、ジョセフソン分布定数線路内の磁束量子の伝搬を利用したミリ波・サブミリ波発振器（Flux Flow Oscillator：FFO）を世界に先駆けて開発した。この発振器は超伝導検出器と集積化されたミリ波・サブミリ波帯での高感度検出システムへと展開され、大気観測や電波天文等に利用された。

図 40-11 当時世界最高級の高磁界マグネットの開発（1985 年）

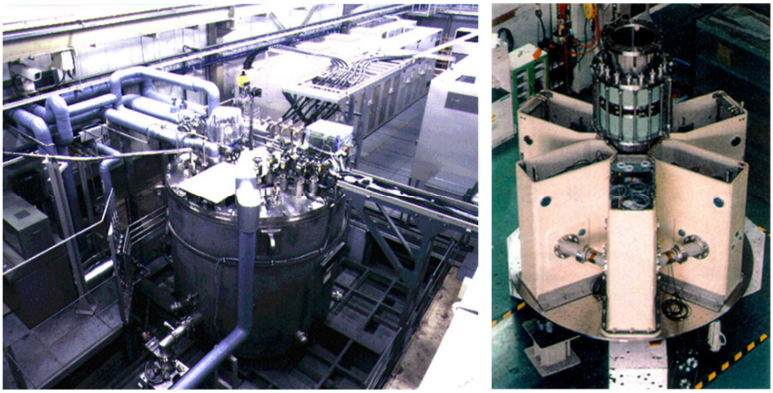


図 40-12 九州電力と共同で開発した系統安定化用 SMES 実験装置の外観と
モジュール型超伝導パルスコイル（1996 年）

第 2 節　超伝導科学研究センター

学内外からの支援の下、センターの第 2 期（1993～2003 年）では、金属系超伝導材料の特性改善と電力機器応用、および酸化物高温超伝導体の工学的応用のための基礎研究を推進した。金属系超伝導材料に関連しては、人工ピン導入による高電流密度 NbTi 極細多芯線の開発研究、交流用 NbTi 撚線導体の最適設計法に関する基礎研究等の先駆的研究を進めた。また、金属系超伝導体のピン止め機構の理論を発展させ、高温超伝導体の電流輸送機構を定量的に記述することを初めて可能にし、高温超伝導体を工学応用するための基礎を確立した。

さらに、1996（平成 9）年には高温超伝導線材（Bi-2223 銀シース多芯線）を用いた液体窒素冷却超伝導変圧器を世界に先駆けて開発した。その写真を図 40-13(a)に示す。6.6/3.3 kV 超電導変圧器であり、液体窒素中（77 K）で 500 kVA、サブクール液体窒素中（66 K）で 800 kVA の実負荷運転によりその有効性を実証した。同変圧器はその後、1 MVA-22/6.9 kV 系統連系実証器、2 MVA-66/6.9 kV 配電用プロトタイプ（図 40-13(b)）、4 MVA-25/1.2/0.4 kV 新幹線搭載用試験器の開発へと展開され、酸化物超電導線による電力用変圧器の要素技術の基盤を創出した。

また、超伝導のエレクトロニクスへの応用として、超伝導量子干渉素子（SQUID）を用いた磁気センサの開発研究を推進し、金属系超伝導及び高温超伝導を用いた SQUID 磁気センサの高感度化のための手法を世界に先駆けて開発した。SQUID 磁気センサは、脳科学や医療の分野において、脳や心臓の活動に伴って発生する磁気信号（生体磁気）を計測する装置として用いられているが、開発した手法はその高感度化に大きく貢献した。

さらに、国際活動の一環として下記に示す超伝導関連の国際会議を主催した。

・ 7th International Symposium on Superconductivity (ISS 1994),

November 1994, Kitakyushu Japan (Program Chair: Kaoru Yamafuji).

・11th International Symposium on Superconductivity (ISS 1998), November 1998, Fukuoka Japan (Program Chair: Kaoru Yamafuji).

(a) (b)

図 40-13　(a) 高温超伝導線材（Bi-2223 銀シース多芯線）を用いた世界初の液体窒素冷却超伝導変圧器（1996 年）
(b) 2 MVA-66/6.9 kV 配電用プロトタイプ機（1999 年）

第 3 節　超伝導システム科学研究センター第 I 期

センターの第 3 期（2003～13 年）では、表 40-1 に示したように「超伝導基礎科学部門」「超伝導材料科学部門」「超伝導情報システム工学部門」「超伝導エネルギーシステム工学部門」の 4 部門を設置し、高温超伝導体の基礎・材料科学の進展と次世代情報・エネルギーシステム構築のための基礎研究を推進した。センターで推進した代表的な 4 つのプロジェクト研究を表 40-3

に示す。

表 40-3 代表的な研究プロジェクト

番号	プロジェクト名
1	高温超伝導線材の高臨界電流化
2	高温超伝導導体の開発と機器応用
3	MgB_2 線材の特性評価と応用
4	超伝導バイオセンシングシステム

プロジェクト 1 では、酸化物高温超伝導線材（RE123、Bi-2223 線材）の高臨界電流化に関する研究を行った。高温超伝導体のミクロ構造と超伝導特性の関係を明らかにするとともに、人工ピンの導入により大幅な特性改善が可能となることを示した。また、高温超伝導線材内の損失発生を可視化する技術を世界に先駆けて確立し、損失機構の詳細な解明を可能とした。この結果を結晶組織観察と比較することにより、臨界電流制限因子を解明し、高品質線材のためのプロセス改善へと大きく貢献した。なお、この研究に関連して、オハイオ州立大学（Ohio State University, 米国）、フロリダ州立大学（Florida State University, 米国）、韓国基礎科学支援研究院（Korea Basic Science Institute）等との間で国際共同研究を実施した。

プロジェクト 2 では、超伝導テープ線材（RE123 線材）を用いて低損失化・大電流導体を実現するために有効な並列導体構造を開発した。また NEDO プロジェクトに参画し産学連携により、この超伝導導体を用いた電気機器の開発を行った。すなわち、10 kVA-4 巻線構造の限流機能付超伝導変圧器や超伝導モーターを世界に先駆けて開発した。

プロジェクト 3 では、金属系の高温超伝導線材（MgB_2 線材）の工学的応用に関する研究を行った。MgB_2 材料は 39 K 程度の高い臨界温度を有するため、液体水素（沸点約 20 K）と組み合わせた超伝導機器の開発が期待されている。このため、MgB_2 線材を用いた液体水素液面計や液体水素ポンプ用超伝導モーターを開発した。

プロジェクト 4 では、世界最高級の感度を持つ高温超伝導 SQUID センサを開発するとともに、同センサを用いた高感度バイオ免疫検査装置を世界に

図 40-14 先進超伝導特性解析・設計技術の高度教育研究システム（2010 年）

先駆けて開発した。なお、この研究に関連してドイツ物理工学研究所（Physikalisch-Technische Bundesanstalt：PTB Berlin）とブラウンシュヴァイク工科大学（Technische Universität Braunschweig）との間で国際共同研究を実施した。

なお、研究プロジェクトに関連して、2010（平成 22）年には特別設備「先進超伝導特性解析・設計技術の高度教育研究システム」が概算要求により認められた。その写真を図 40-14 に示す。この設備は、磁界・温度の広領域での超伝導特性の測定を可能とするものであり、これにより超伝導体の詳細な特性解析が可能となり、プロジェクト研究が加速された。

また、国際活動の一環として超伝導関連の国際会議を主催した。下記に議長やプログラム委員長等を務めた国際会議を示す。

- 12th International Superconductive Electronics Conference (ISEC 2009), June 2009, Fukuoka Japan (Chair: Keiji Enpuku).
- International Workshop on Coated Conductors for Applications 2010, October 2010, Fukuoka Japan (Chair: Takanobu Kiss).
- Superconductivity Centennial Conference 2011 - EUCAS–ISEC–ICMC, September 2011, The Netherlands (Organizing Committee: Keiji Enpuku).
- International Symposium on Superconductive Electronics, October 2011, Kyoto Japan (Chair: Keiji Enpuku).

・24th International Symposium on Superconductivity (ISS 2011), October 2011, Tokyo Japan (Program Chair: Keiji Enpuku).
・24th International Cryogenic Engineering Conference & International Cryogenic Materials Conference 2012, (ICEC24-ICMC2012), May 2012, Fukuoka Japan(Chair: Kazuo Funaki).

第 4 節　超伝導システム科学研究センター第Ⅱ期

センターの第 4 期（2013 年～ ）では、表 40-2 に示したように、「材料科学部門」「応用物性部門」「エレクトロニクス部門」「機器工学部門」「先進電気システム工学部門」の 5 部門を設置し、超伝導現象の基礎から応用システムに及ぶ幅広い研究を行う世界的に有数な研究拠点として活動している。センターの部門と研究内容を表 40-4 に示す。

表 40-4 超伝導システム科学研究センター第Ⅱ期の部門と研究内容

部門名	研究内容
材料科学部門	超伝導体の高性能化のための材料解析・プロセス技術、および新超伝導材料の開発研究
応用物性部門	超伝導の持つポテンシャルを最大限引き出すための超伝導物性解明と要素技術の高度化研究
エレクトロニクス部門	センシングイノベーションのためのバイオ・分析分野における各種先端計測システムの開発研究
機器工学部門	低炭素社会実現のための種々の先進超伝導機器や省エネルギー機器の開発研究
先進電気システム工学部門	超伝導機器と既存の電気システムや周辺技術の統合による超伝導システムの開発研究