

Nd:YAG-PLD 法を用いた Fe(TeS) 膜の作製 Fabrication of Fe(TeS) films by Nd:YAG-PLD method

吉田 隆, 一野祐亮(名大工,JST-TRIP); 吉田 圭, 高井吉明(名大工); 一瀬 中(電中研,JST-TRIP);
松本 要(九工大工,JST-TRIP); 藤井由隆, 寺西 亮, 木須隆暢, 向田昌志(九大工,JST-TRIP);
YOSHIDA Yutaka, ICHINO Yusuke (Nagoya Univ., JST-TRIP), YOSHIDA KEI, TAKAI Yoshiaki (Nagoya Univ.);
ICHINOSE Ataru (CRIEPI, JST-TRIP); MATSUMOTO Kaname (Kyushu Inst. Tech. JST-TRIP);
FUJII Yoshitaka, TEARANISHI RYO, KISU Tanobu, MUKAIDA Masashi (Kyushu Univ.,JST-TRIP)
E-mail: yoshida@nuee.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

LaFeAs(OF)などの鉄砒素系材料における高温超伝導の発見以来、これらの鉄砒素超伝導材料の基礎物性評価、高品質薄膜作製、線材化など各種方面からの研究が検討されている。これまで報告されている鉄砒素系超伝導体の結晶構造は大きく分けて ZrCuSiAs 型、ThCr₂Si₂ 型、CuSb₂ 型、PbO 型の 4 種類ある。それぞれ、LaFeAs(OF)、BaKFeAs、LiFeAs および Fe(TeS)などが代表的な超伝導材料として確認されている。我々は、(i)臨界温度 T_c 向上に向けた指針を得る、(ii)粒界特性の把握および臨界電流密度向上、(iii)基礎物性の理解に向けた高品質材料の作製などを目的として、これまでの薄膜成長プロセス技術を用いて高品質薄膜作製を検討している。そこで、本研究では2倍波の Nd:YAG レーザを用いた Fe(TeS)系薄膜の作製に関して報告する。

2. 実験方法

Fe(TeS)薄膜は PLD 法(Nd:YAG レーザ: $\lambda = 532$ nm)を用いて、MgO(100)、SrTiO₃(100) (STO) および LaAlO₃(100) (LAO)の単結晶基板上に基板温度(T_s) 400°C、圧力 $4.0 \times 10^{-4} \sim 4.0 \times 10^{-5}$ Torr で作製した。なお、本研究で作製した薄膜の膜厚は 300 nm 程度とした。微細組織観察に透過電子顕微鏡 (TEM)、組成分析に走査透過電子顕微鏡(STEM)を用いた。また、臨界電流密度(J_c)及び臨界温度(T_c)を直流四端子法により測定した。

3. 結果及び考察

薄膜作製に用いた Fe(TeS)ターゲットは、Ar 雰囲気中のグローブボックス内で秤量、らいかいなどを行った。また石英管に入れて 600°C 程度で熱処理することにより、90%程度の高密度ターゲットを得た。なお X 線回折では Fe(TeS)のピークのみが、EDX からは Fe:Te:S=1:0.75:0.21 であることが確認された。

Fe(Te_{0.75}S_{0.21})ターゲットを用いて、異なる成膜速度で薄膜を作製した。成膜速度を 138 pm/s で作製した場合は、 2θ

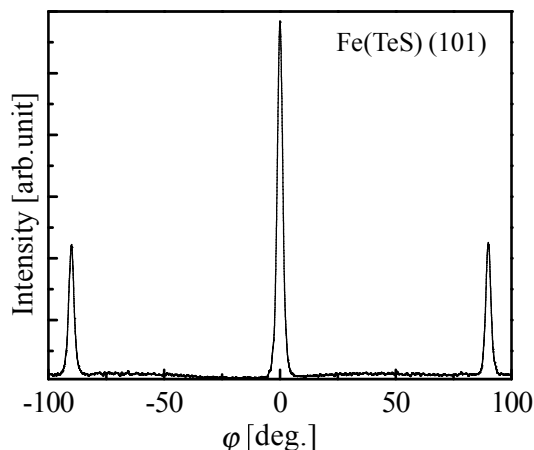


Fig.1 In-plane XRD pattern of Fe(TeS) film on STO

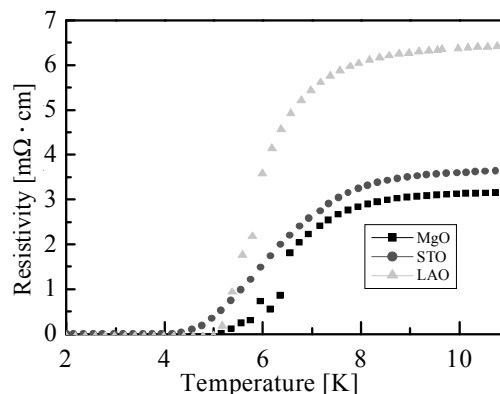


Fig.2 T_c of the Fe(TeS) films on MgO, STO and LAO substrate

ω 測定結果から c 軸配向していることが確認されたが、 ϕ スキャン測定結果から、cube on cube 成長以外のピークも確認された。そこで成膜速度を 63 pm/s と遅くした場合、 $\delta\phi$ の値も小さく、MgO 基板では cube on cube 成長以外のピークが確認されるものの、STO 基板(図 1)、LAO 基板では 4 回対称性が確認され面内配向性が向上した。また得られた薄膜の組成は全てターゲット組成から Te-poor になっている。図 2 に各種基板の薄膜の抵抗率の温度依存性を示す。それぞれ MgO、STO、LAO 基板の膜の $T_{c \text{ onset}}$ は、6.6 K、7.4 K、6.3 K であることが確認される。さらに LAO 基板の場合に、成膜速度を 23 pm/s まで変化した結果 $T_{c \text{ onset}} = 9.3$ K まで向上した。

図 3 に MgO 基板および STO 基板上に作製した薄膜の微細構造観察結果を示す。MgO 基板の膜は欠陥など観察されない構造を有しているのに対し、STO 基板上は欠陥などが比較的多いことが観察される。TEM—EDX からは、組成の不均一性は確認されていない。これまで、各基板上における薄膜の微細組織の結果と臨界温度の相関関係は明らかになっていない。薄膜の表面観察結果や基板熱処理などによる表面状態に関する薄膜の結晶性や超伝導特性に関する違いも検討している。

4. 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(19676005, 20686065)の助成を受けて実施されたものである。

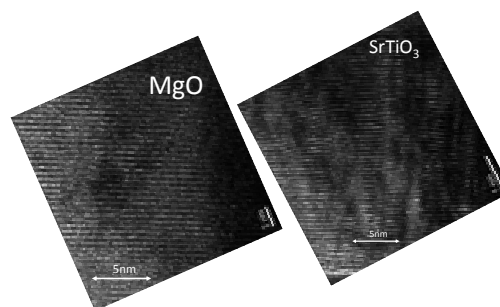


Fig.3 TEM images of the Fe(TeS) films on MgO and STO

各種基板上に作製した Fe 系 11 型薄膜の微細構造

Microstructures of Fe-based 11 type films deposited on several substrates

一瀬 中, 塚田 一郎, 花輪 雅史(電中研, JST-TRIP); 秋池 孝則, 今井 良宗, 前田 京剛(東大, JST-TRIP); 春山 康則, Mele Paulo, 松本 要(九工大, JST-TRIP); 向田 昌志, 木須 隆暢(九大, JST-TRIP); 吉田 隆(名大, JST-TRIP); ICHINOSE Ataru, TSUKADA Ichiro, HANAWA Masafumi (CRIEPI, JST-TRIP); AKIIE Takanori, IMAI Yoshinori, MAEDA Atsutaka (Univ. of Tokyo, JST-TRIP); HARUYAMA Yasunori, MELE Paulo, MATSUMOTO Kaname (KIT, JST-TRIP); MUKAIDA Masashi, KISS Takanobu (Kyushu Univ., JST-TRIP); YOSHIDA Yutaka (NAGOYA Univ., JST-TRIP)
E-mail: ai@criepi.denken.or.jp

1. はじめに

超電導臨界温度 $T_c=26$ K を持つ $\text{LaFeAsO}_{0.89}\text{F}_{0.11}$ の発見は[1], Fe 系超電導材料の研究を活性化し, 各種 Fe 系超電導材料が発見された。Fe 系超電導材料の中で, 結晶構造が最も単純な Fe 11 系超電導薄膜を種々の単結晶基板上にパルスレーザー蒸着法(PLD 法)で作製した。Fe 11 系超電導材料の FeSe 超電導材料は, 加圧することにより T_c が上昇する圧力効果が見られている[2]。さらに, FeSe の Se を同族元素の Te で部分置換したり, FeTe の Te を同様に同族の S で部分置換したりすることにより, T_c が変化することが知られている[3,4]。このことから, Fe11 系超電導材料は結晶構造が歪むことで超電導特性が変化すると考えられる。薄膜においては, 基板と超電導材料の格子定数の違いにより, 超電導薄膜への応力印加が可能のため, 基板材料を変えることにより, 超電導薄膜の T_c の変化が期待できる。そこで, 各種単結晶基板上に Fe11 系超電導薄膜を作製したところ, T_c は基板材料により大きく変わり, T_c の変化は超電導薄膜の格子定数に関連していることが分かった。しかし, 薄膜材料の格子定数の変化は, 基板との格子定数の整合性との相関がなかった[5]。そこで, 基板と超電導薄膜の界面近傍の微細構造を透過型電子顕微鏡で調べることにした。

2. 実験方法

$\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ ターゲット材料を用いて, MgO , SrTiO_3 , LaAlO_3 , YSZ 等の各種単結晶基板上に, また, $\text{Fe}(\text{Te}_{0.8}\text{S}_{0.2})$ ターゲット料を用いて, MgO , SrTiO_3 単結晶基板上に KrF レーザーによる PLD 法で薄膜を作製した。詳細な作製方法は参考文献 5,6 に示す。作製した薄膜は, 集束イオンビーム装置(FIB装置)を用いてマイクロサンプリング法により微小試料を切出し, 薄片化し, 微細構造観察試料を得た。断面構造の観察には透過型電子顕微鏡(JEOL-2100F)を用い, 明視野像の観察, EDX により組成分析等を実施した。

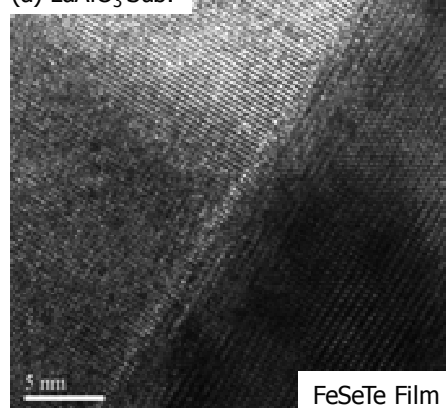
3. 実験結果および考察

表 1 に MgO , SrTiO_3 , LaAlO_3 , YSZ 上に作製した $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ 薄膜の格子定数, ゼロ抵抗温度, および, 単結晶基板の a 軸の長さを示す。 $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ 薄膜の a 軸が短くなるとゼロ抵抗温度は高くなる傾向がある。しかし, 薄膜の a 軸長とそれに対応する単結晶基板の軸長とは相関がなかった。

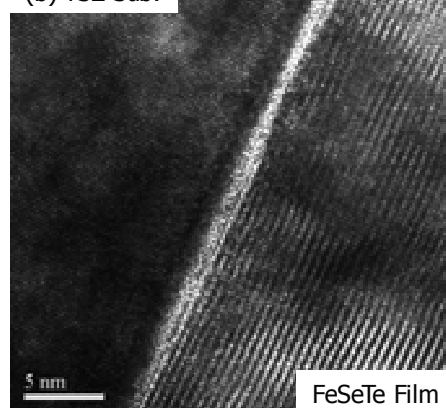
図1に LaAlO_3 と YSZ の基板界面近傍の断面 TEM 写真を示す。 LaAlO_3 の場合には, 基板と薄膜の接合はきれいであるが, YSZ の場合には, 基板界面にコントラストの異なる異相が観察された。このように, 基板界面に異相が生成することにより, 薄膜の a 軸長は基板の軸長の影響を受けにくくなったと考えられる。さらに, EDX による組成分析の結果, 基板界面に異相が生成した薄膜では, 薄膜の内部に酸素が混入していることが分かった。基板の違いにより界面近傍の微細構造, および, ゼロ抵抗温度は $\text{Fe}(\text{Te}_{0.8}\text{S}_{0.2})$ 膜においても同様な傾向が見られた。

Table 1 Characteristics of single-crystal substrates and $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ films

Substrates		$\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ films	
Materials	a-axis (Å)	a-axis (Å)	$T_{c, \text{zero}}$ (K)
MgO	4.212	3.794	9.2
LaAlO_3	3.790	3.796	9.4
SrTiO_3	3.905	3.800	6.6
YSZ	$3.624(a/\sqrt{2})$	3.825	—

(a) LaAlO_3 Sub.

(b) YSZ Sub.

Fig. 1 Cross-sectional TEM Images of $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ films on LaAlO_3 (a) and YSZ (b)

謝辞

本研究はJST-TRIPのプロジェクトにおいて行われた。

参考文献

1. Y. Kamihara, et al.: J. Am. Chem. Soc. 130 (2008) 3296
2. Y. Mizuguchi, et al.: Appl. Phys. Lett. 93 (2008) 152505
3. M.H. Fang, et al: Phys. Rev. B78 (2008) 224503
4. Y. Mizuguchi, et al.: Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 012503
5. Y. Imai, et al.: Appl. Phys. Express 3 (2010) 043102
6. P. Mele, et al.: Supercond. Sci. Technol. 23 (2010) 052001

鉄ニクタイト超伝導体におけるブロック層の厚さと不可逆磁場

Relationship between irreversibility field and thickness of blocking layer in iron pnictide superconductors

下山淳一、荻野拓、川口直登、佐藤伸也、清水保章、町田健次、山本明保、岸尾光二(東大院工、JST-TRIP)
SHIMOYAMA Jun-ichi, OGINO Hiraku, KAWAGUCHI Naoto, SATO Shinya, SHIMIZU Yasuaki, MACHIDA Kenji,
YAMAMOTO Akiyasu, KISHIO Kohji (Univ. of Tokyo, JST-TRIP)

E-mail: shimo@sogo.t.u-tokyo.ac.jp (J. Shimoyama)

【はじめに】銅酸化物超伝導体においては、 CuO_2 面間距離が長くなる、即ち、ブロック層が厚くなるとともに電気的磁氣的異方性が大きくなることが知られている。異方性が大きい代表的な物質である Bi 系超伝導体の CuO_2 面間距離は $12.1 \text{ \AA}$ で、これは c 軸方向のコヒーレンス長よりも 2 桁以上長い。一方、鉄ニクタイト超伝導体は、超伝導を担う逆ホタル石型構造の鉄ニクタイト層を含む層状構造から成り、鉄ニクタイト層間のブロック層の構造が多様でかつ構成可能な元素が多いことが特徴である。代表的な鉄ニクタイト超伝導体の結晶構造を Fig. 1 に示した。ブロック層が金属のみで構成される 122 相 ($(\text{Ba,K})\text{Fe}_2\text{As}_2$ など) では、ブロック層が金属のみで構成され薄いのに対し 1111 相 (REFeAsO など) のブロック層は、ホタル石型構造の REO であり、これは Fe 面を $8 \text{ \AA}$ 以上隔てかつ絶縁的な性質を持つ。これらを反映し 122 相では H_{c2} の比 ($H_{c2}^{(H//ab)}/H_{c2}^{(H//c)}$) が T_c 近傍を除いて 1 に近く異方性が極めて小さいのに対し、1111 相ではそれが 20 程度であることがわかっていて、さらに最近、我々のグループを中心に続々と発見されたペロブスカイト型酸化層を持つ新物質群[1-4]ではブロック層が非常に厚く、Fe 面間距離が $15 \text{ \AA}$ を超えることから、異方性が大きいことが予想される。しかし、単結晶が得られていないことから、異方的な物性を直接調べることは難しい。

我々はこれまでに銅酸化物超伝導体の $H//c$ における T_c で規格化した不可逆曲線が異方性の大きくなる順に低磁場側に位置し、経験的に異方性パラメータ $\gamma^2 (=m_c^*/m_{ab}^*)$ を用いて不可逆曲線が定式化できることを示してきた[5]。以上の背景のもと、本研究ではブロック層が厚い鉄ニクタイト超伝導体の不可逆磁場を調べ、ブロック層の厚さと不可逆曲線、これに関連する異方性の関係を明らかにすることを目指した。

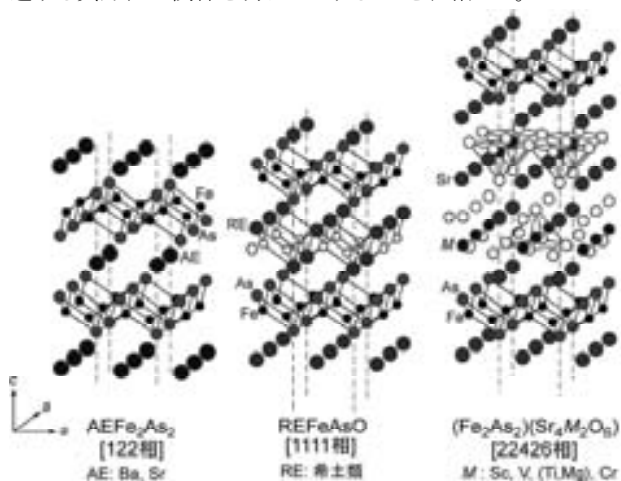


Fig. 1 Crystal structures of representative layered iron pnictides, 122, 1111 and 22426 phases.

【実験】 $(\text{Fe}_2\text{As}_2)(\text{Sr}_4\text{V}_2\text{O}_6)$, $(\text{Fe}_2\text{As}_2)(\text{Ca}_4(\text{Mg,Ti})_3\text{O}_8)$ 焼結体試料は石英封管内における固相反応法により作製した。以後、前者を 22426、後者を 22438 と略す。粉末 X 線回折法により調べたところ、両試料ともほぼ単相で、Fe 面間距離は 22426 で $15.7 \text{ \AA}$ 、22438 で $16.7 \text{ \AA}$ であった。22438 における Mg と Ti の組成比は不純物相の存在により厳密ではないが、およそ

1:2 である。これらの試料について SQUID 磁束計を用いた磁化測定を行い、不可逆温度または不可逆磁場を調べた。これらの決定に用いた閾値は 0.02 G で、粒内 J_c としておよそ 300 A/cm^2 に相当する。

【結果と考察】 1 Oe の磁場下で測定した磁化の温度依存性より、22426、22438 の T_c は、それぞれ 27 K 、 42 K であることがわかった。Fig. 2 にこれら試料の不可逆曲線を示す。比較のため、銅酸化物超伝導体の Y123, Hg1223, Bi2212 単結晶、および鉄ニクタイト 1111 相の単結晶試料の不可逆曲線も示した。なお、本研究で調べた試料はいずれも無配向の焼結体であるが、結晶の ab 面内の J_c が c 軸方向のそれより桁違いに高いと考えられ、また銅酸化物超伝導体の経験からも、概ね $H // c$ における不可逆曲線とみなしてよい。

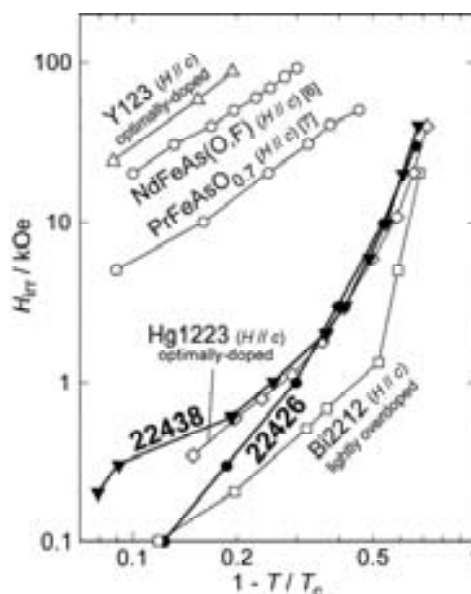


Fig. 2 Irreversibility lines of 22426 and 22438. Those of Y123, Hg1223, Bi2212 and 1111 compounds are also shown.

1111 と比べて 22426、22438 の不可逆磁場はかなり低く、 $\gamma^2 \sim 6000$ の Hg1223 とほぼ同様な振る舞いを示すことがわかった。また、両試料の不可逆曲線にほとんど違いが無いことは、ブロック層が非常に厚く、2 次元的な磁束に対する FeAs 層固有のピンニングが現れた結果と考えることができる。

講演ではさらに厚いブロック層を持つ鉄ニクタイトの不可逆曲線も示し、本系の不可逆磁場の決定因子や磁気相図について銅酸化物超伝導体と比較して議論する。

【参考文献】 [1] H. Ogino *et al.*, *SuST* **22** (2009) 075008. [2] H. Ogino *et al.*, *SuST* **22** (2009) 085001. [3] X. Zhu *et al.*, *Phys. Rev. B* **79** 220512(R). [4] S. Sato *et al.*, *SuST* **23** (2010) 045001. [5] J. Shimoyama *et al.*, *J. Low Temp. Phys.* **131** (2003) 1043. [6] Y. Jia *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **93** (2008) 32503. [7] J. Shimoyama *et al.*, reported at 14th US-Japan Workshop on Advanced Superconductors (2009/12/14-15).

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

Creation of advanced HTS energy and electronics industry

佐藤 謙一 (科学技術振興機構・住友電工)

SATO Ken-ichi (JST, SEI)

E-mail: sato-kenichi@sei.co.jp

1. はじめに

科学技術振興機構の新しい制度「産学イノベーション加速事業 戦略的イノベーション創出推進」(略称:S-イノベ)のテーマである「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」は超伝導の持つ低損失、高密度電流、高磁場、高速性、高感度などの特性に基づいた新しい機器、システムの生まれる可能性を考慮し、これまでのさまざまな研究開発プロジェクト成果を最大限活用するとともに、長期的視点のもとで実用機器・システムにつながる研究開発とあわせて超伝導応用の学術的・技術的基盤の着実な構築を目指すものです。

この背景としては、Fig. 1 に示すように高温超電導線の開発が進み、工業材料として考えられる特性評価指数が300,000Amと量産レベルで達したこと、また応用製品の開発までには Fig. 2 に示すように応用基礎研究から要素技術、プロトタイプの開発へと長期間を要すること、今後の新産業の創出のためにはサイエンスに支えられたブレークスルーが必要ながあります。Fig. 3 にはこの制度における考え方を示します。

立を目指し、応用基礎研究から産業の礎となる要素技術開発、アプリケーションの研究開発まで、着実な進展を得ていかなければならないと考えます。

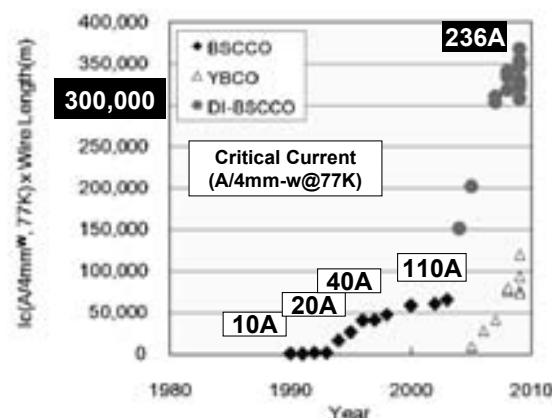


Fig.1 Progress of HTS Wire Development

2. 運営の方針

公募の結果、五つの課題が採択され、2009 年度からスタートしました。人類社会の発展や地球規模のさまざまな問題の解決に資するため、高温超伝導のポテンシャルを最大限引き出し、超伝導システムとして新しい産業創成の礎を築き、さらにその技術の普及による新産業の創出を望みうる地平を切り開きます。

エネルギー・環境、産業・輸送分野では、低炭素時代の実現を目指した電力・エネルギー基盤技術や世界規模の再生可能エネルギー利用のための基盤技術および超伝導の持っている省エネルギー基盤技術からアプリケーション技術への転換を目指します。医療・バイオ、センシング、情報・通信分野では、高齢化社会や地域の医療を支える超伝導医療機器の基盤技術や生命科学者が容易にアプローチできる情報技術を駆使した超伝導科学基盤計測技術の構築、実現を目指します。いずれも新しいコンセプトに基づいた超伝導応用のフロンティアを切り開くものが期待されます。

期待される10年後の姿としては、材料基礎研究から実用機器研究開発をつなぐ実用基盤研究および学術研究の高度化を狙い、成果としては、2050年超伝導社会の実現が見通せる高温超伝導応用システムの実用基盤技術の確立とプロトタイプ製作・試験です。例えば、マーケット競争力のある機器開発につながる研究成果、システムに最適な実用材料の研究成果、ターゲットシステムを想定しながらもさまざまな機器・システムに共通となる実用技術基盤となる研究成果があります。

また各課題共通となる冷却技術についても検討の場を設けるとともに、複数課題の研究開発の成果を共有しより効果的・効率的な開発が可能な場も設けてゆきます。

3. 期待される成果

プロジェクト終了後の成果として、2050年超伝導社会の実現が見通せる高温超伝導応用システムの実用基盤技術の確

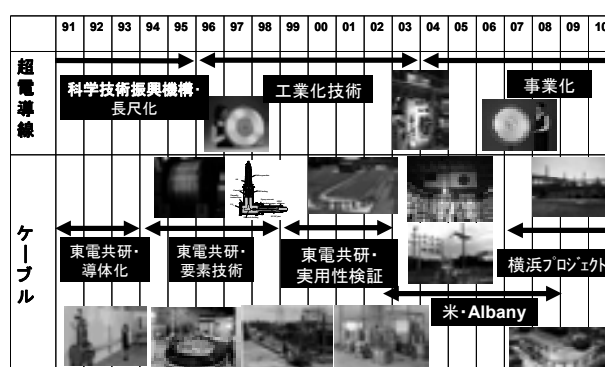


Fig.2 Progress of HTS Wire Application Development

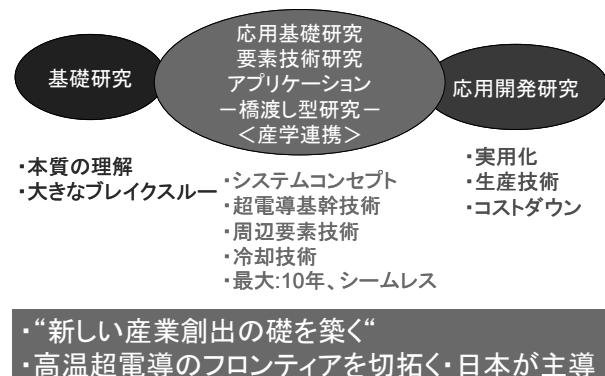


Fig.3 Advanced HTS Energy & Electronics Industry

高温超伝導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発

Development of Advanced HTS Sensing Systems for Bio and NDE Application

神島 明彦(日立基礎研); 円福 敬二(九州大学)

KANDORI Akihiko (Hitachi); ENPUKU Keiji (Kyushu Univ.)

E-mail: akihiko.kandori.vc@hitachi.com

1. はじめに

科学技術振興機構の「戦略的イノベーション創出推進事業」において、「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」をテーマとしたプロジェクトが開始された。本講演では、その中の「高温超伝導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」の研究課題の概要について紹介する。

本研究に参画している研究機関と機関毎の代表者は、九州大学(圓福敬二、PM, 研究リーダー)、日立製作所(神島明彦、開発リーダー)、日立ハイテクノロジーズ(鈴木博之)、(財)国際超電導産業技術研究センター(安達成司)、岡山大学(塚田啓二)、豊橋技術科学大学(田中三郎)であり、6機関の共同研究により研究課題を推進していく。超伝導システムの実現のためには、産学が連携し、それぞれの特徴を生かして互いに補完しあう共同研究が重要となるが、本プロジェクトにより実りのある共同研究を実施する予定である。

2. 研究課題の概要

SQUIDは超高感度な磁気センサとして知られており、その高感度性を用いて、従来に無い高性能性と新機能を有する先端センシングシステムの開発に期待が寄せられている。既に、低温超伝導SQUIDは先端科学計測の分野で大きな実績を有しているが、産業応用への展開を可能とするためには、高温超伝導を用いたSQUIDセンシングシステムの開発が不可欠である。

しかしながら、高温超伝導SQUIDは低温のそれに匹敵する高い性能を持つことが理論的には示されているものの、作製プロセス等が未熟なため、その潜在的な性能は充分には引き出されていない。また、ピコテスラ程度の微弱磁界を高精度に計測し、この結果を再構成して機能・診断情報を得るため磁

気イメージング技術の開発も不十分である。このため、高温超伝導SQUIDの応用システムへの展開が制限されているのが現状である。

従って本プロジェクトでは、高温超伝導SQUID磁気センサのポテンシャルを最大限引き出すことにより、低温SQUIDに匹敵する高感度性と高い信頼性を持つSQUIDシステムを開発し、種々の産業応用へ展開することを目的としている。

研究課題の概要を図1に示す。研究課題の目標の一つは産業応用が可能な高性能で信頼性の高い高温超伝導SQUIDシステムの開発である。このために、これまで開発してきた積層化技術を高度化し、高感度で耐磁場特性に優れた高温超伝導SQUIDを開発する。また、雑音除去法や磁界補償法などを高度化し、磁場中動作が可能なセンサシステムを開発する。

もう一つの目標は、SQUIDと先端磁気イメージング手法を用いたバイオ・非破壊技術の開発である。すなわち、

- (1) 医療診断や再生医療のためのバイオセンシング技術を開発し、免疫検査、培養心筋細胞検出、心磁検出、および超低磁場NMR/MRIへの応用展開を図る。
- (2) また、エネルギー分野で重要となる電池や農業分野で重要となる水分の分析・評価のための非破壊検査システムを開発する。

図に示すように、これらのプロトタイプの開発・評価を通して、従来にない高性能と新機能を有する先端バイオ・非破壊センシング技術を開拓し、超伝導センシング機器の基盤技術確立することを目指している。また、磁気計測による診断・機能情報の検出を通して、磁気医学、磁気バイオ、磁気化学、及び磁気分析・検査などの新しい学際分野の開拓も目指している。

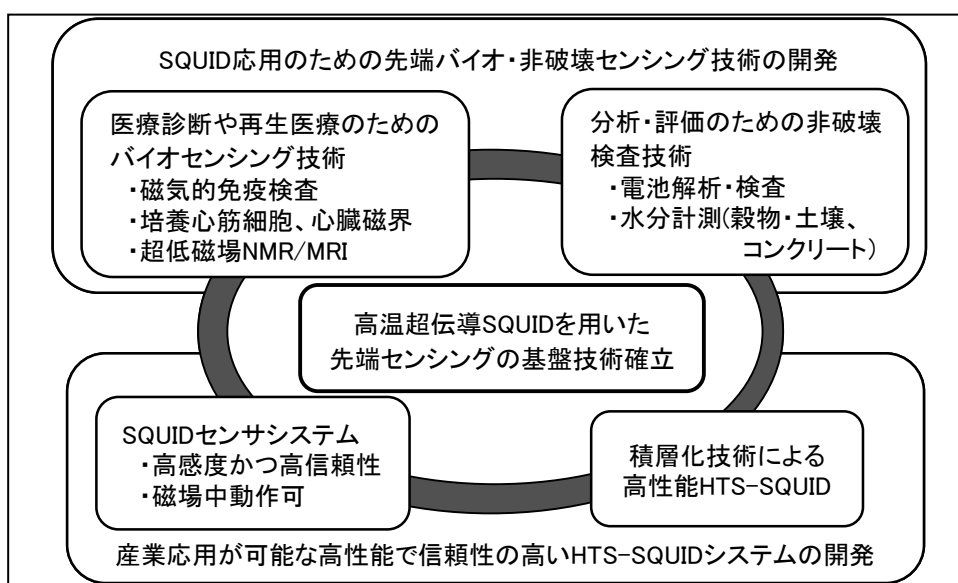


図1. 研究課題の概要。

大出力超伝導回転機器に向けたキーハードの開発 R&D of key technology for large scale superconducting rotational machine

塚本修巳 (横浜国立大学)
TSUKAMOTO osami (Yokohama Nat'l Univ.)
E-mail: osami-t@ynu.ac.jp

1. はじめに

本研究開発(研究リーダー:塚本修巳, 開発リーダー:柳本俊之(川崎重工))では海上輸送を支える船舶の推進効率を向上させるため, 高効率で小型・大出力20MW級の高温超伝導モータとそのキーハード技術の開発を目指す。

ラジアル型超伝導モータは世界で開発が進んでおり, 米国が 2003 年に5MWモータ, そして2007 年に36.5MWのモータを完成させており, 出力密度は, 共に 580kW/m^3 程度である。本研究では, この世界最高水準を超える超伝導モータを新しく開発する。本研究開発は, 在来モータの高効率化を図るために, 最先端の超伝導技術を応用した世界最高水準の高出力(20MW級)の超伝導モータを提供するものである。

具体的には, 超伝導回転機の超伝導界磁コイルの変動磁界に対する損失を従来技術(Y系コイルでは幅 1cm のY系薄膜導体, Bi系コイルでは幅 4mm の Bi 銀シース線材を用いたフラットなレーストラックコイルの変動磁界損失を想定)に対して, Bi 銀シースコイルで 1/3 に, Y系コイルでは 1/5 にする手法を明らかにする。また, 超伝導界磁コイルの受ける機械的ストレス下でローバストかつ高い信頼性で超伝導性能(高電流密度, 低損失性能)を維持するための導体/コイルの設計法を確立する。

また, 低コスト低損失の回転子(ロータ)・冷凍機一体型超伝導コイル冷却システムの開発を行い, 従来の冷却システムと超伝導回転機間の冷媒輸送に伴う損失を削減することで総体としての高効率化とシステムの小型化を目指す。

以上を統合して, 本研究開発では, 総体としての船舶用大型超伝導回転機の高効率化とシステムの小型化に向けた設計技術の開発を目指す。

2. 研究開発項目と開発計画概要

本研究開発は Fig. 1 に示すように, 超伝導コイル技術, 超伝導コイル冷却技術および船舶推進用大型超伝導回転機設計技術それぞれを担当する 3 グループが緊密な情報交換を行い共同して研究開発を行うものである。本課題においては, 先行研究がかなりの程度進められており, ステージ I の研究はすでに済んでいると考えられ, ステージ II から初めることとした。ステージ II, III を含め 5 年計画となっている。Tab. 1-3 は各グループのそれぞれのステージの目標が示してある。

3. まとめ

この研究成果で培われた技術は, 商用船舶のみならず, 大出力風力発電機や海潮流発電機の

小型・軽量化, 海洋開発や海底資源探査ビークルの発電機や推進機関, 海洋調査船, 砕氷船, 大陸棚調査船舶, 米国で構想されている100MW 級大型漁船等の推進システムに応用できるものであり, 広い応用分野がある。

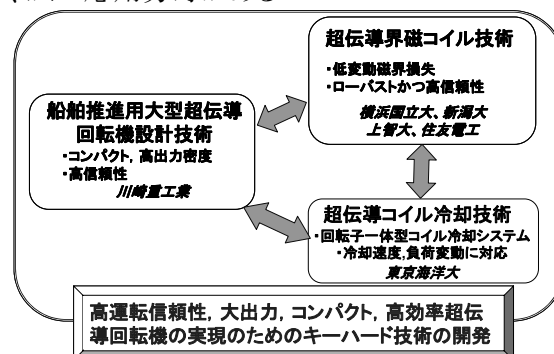


Fig.1 Formation of the R&D group

Tab.1 R&D for lowloss coils

ステージII (2009~2011)	ステージIII (2012~2013)
- 変動磁界損失低減法 - 線材, 集合導体, コイルの統合的設計 - Bi系コイルでの損失1/3の検証	- ステージIIで開発された設計法, 冷却方式に基づくBi系界磁要素モデルコイルの設計・製作(20MW級界磁コイルの1種分実コイルの設計) - Bi系界磁要素モデルコイルの特性試験(実コイル1個) - Y系小型コイルの試作と損失1/5の検証
- Biコイルの設計法の明確化 - Y系小型コイル設計 - ローバスト設計法の確立 - 線材のクエンチ特性データ取得, エネルギー放出時間の設定	ローバストかつ高運転信頼度低変動磁界損失界磁コイルの設計法の確立

Tab.2 R&D for cooling system

ステージII (2009~2011)	ステージIII (2012~2013)
一体型冷却システムの基本設計と100W冷却システムの試作と検証	20 MW級超伝導回転機に対応する一体型冷却システムの試設計 20 MW級船舶用超伝導モータ対応

Tab.3 R&D for design of HTS ship propulsion motor

ステージII (2009~2011)	ステージIII (2012~2013)
船舶用20MW級大型超伝導回転機を想定した概念設計	船舶用20MW級大型超伝導回転機の基本設計を行う。
超伝導界磁コイルおよび冷却システムに対する要求仕様を明確化	船舶用20MW級超伝導回転機の設計手法を明確にし, キーハード技術として確立する。

高温超伝導を用いた高機能・高効率・小型加速器システムへの挑戦

Challenge to high-functional, efficient, and compact accelerator systems using high T_c superconductors

雨宮 尚之(京大・工); 吉行 健, 来栖 努(東芝); 森 義治(京大・原子炉); 荻津 透(KEK); 野田 耕司(放医研); 吉本政弘(原子力機構)

AMEMIYA Naoyuki (Kyoto University); YOSHIYUKI Takeshi, KURUSU Tsutomu (Toshiba); MORI Yoshiharu (Kyoto University); OGITSU Toru (KEK); NODA Koji (NIRS); YOSHIMOTO Masahiro (JAEA)

E-mail: amemiya@kuee.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

粒子線がん治療用加速器(Fig. 1(a))のコンパクト化・省電力化, 加速器駆動未臨界炉(Fig. 1(b))の実現, ニュートロクス・ミュオニクスなどの未来の新産業創出などを見据えて, JSTのS-イノベの枠組みのもと「高温超伝導を用いた高機能・高効率・小型加速器システムへの挑戦」という課題名の研究開発プロジェクトをスタートした。

2. プロジェクトの目的

このプロジェクトは、
—ステージ I, II—

1) 加速器マグネットを高温超伝導化するための共通基盤技術として位置付けた「機能結合型・高効率加速器用高温超伝導マグネット技術」を確立し、

—ステージ III—

2) これをもって実用機と同スケールのプロトタイプマグネットを作り、

3) プロトタイプマグネットを放射線医学総合研究所の加速器 HIMAC のビームラインに設置しその機能を実証することを目指すものである。加速器としてはモジュール型のマグネットを並べることで構成できる固定磁場強集束(FFAG)加速器やシンクロトロンを想定している。特に, FFAG 加速器は, 直流励磁マグネットで作成可能でかつ強集束という特徴を有している。これらの実用加速器のマグネットと同スケールのプロトタイプマグネットの開発を目指しており, これを実現する技術が確立されれば, その後, マグネットを加速器システムに組み込むための技術開発を行うことにより, 高温超伝導加速器の実用化が可能になると考えられる。

3. 機能結合型・高効率加速器用高温超伝導マグネット技術

ステージ II までに確立を目指す標記技術は以下のような要素技術から構成される。

- ① 高温超伝導による機能結合型マグネット技術: 偏向, 集束といった複数の機能をひとつのマグネットで実現する技術
- ② 高精度磁場発生技術: 粒子軌道制御に必要な高精度の磁場を発生する技術
- ③ 高精度 3 次元巻線技術: 加速器マグネット特有の立体的巻線を高精度で実現する技術
- ④ 高効率伝導冷却マグネット技術: 加速器特有の発熱を考慮した伝導冷却マグネット技術
- ⑤ 放射線環境対応技術: ビーム損失による放射線負荷に対応する技術
- ⑥ 高温超伝導加速器システム技術: ビーム光学など加速器としてのシステム設計技術

4. 研究開発体制

本プロジェクトの研究開発チームは, 京都大学大学院工学研究科(京大工), 東芝, 京都大学原子炉実験所(京大炉), 高エネルギー加速器研究機構(KEK), 放射線医学総合研究所(放医研), 日本原子力研究開発機構(JAEA)から構成される。京大工は高温超伝導電磁現象から高温超伝導マグネット技術, KEK はマグネット技術から加速器工学, 京大原子炉・

放医研・JAEA は加速器システム技術とユーザとしてのシステム評価, 東芝は製造技術の開発と大学・研究機関で研究された要素技術の実マグネットへのインテグレートを担当する。

謝辞

本研究は, 産学イノベーション加速事業【戦略的イノベーション創出推進】として, 科学技術振興機構からの委託により実施したものである。

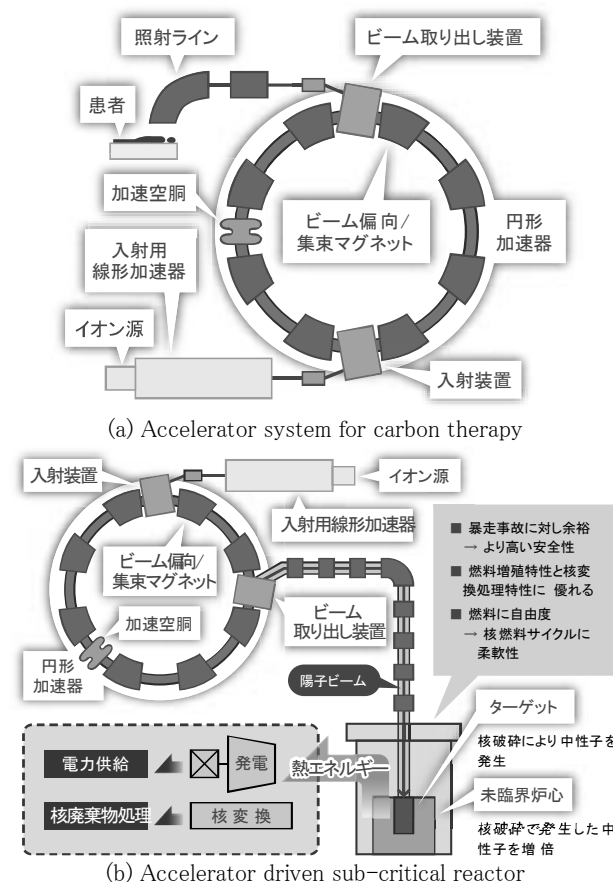


Fig. 1 Future applications of accelerator using high T_c superconductor.

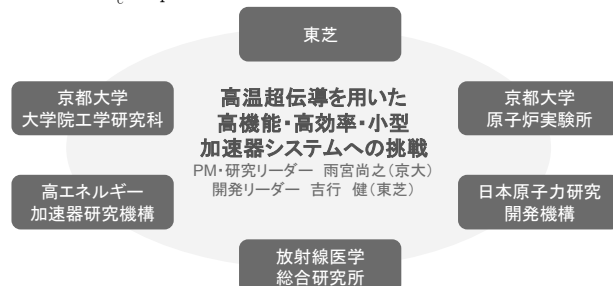


Fig. 2 Challenge to high-functional, efficient, and compact accelerator systems using high T_c superconductors.

高温超伝導材料を利用した次世代 NMR 技術の開発 Development of the next-generation NMR technology using HTS materials

末松 浩人(日本電子株式会社)

SUEMATSU Hiroto (JEOL Ltd.)

E-mail: suematsu@jeol.co.jp

1. はじめに

日本の超伝導技術は、米国と並び世界トップレベルにある。しかし、その応用製品のひとつである NMR (核磁気共鳴) の産業化では、海外勢に押され気味である。本課題では、国内の優れた超伝導技術をもつ機関、技術の出口としての NMR 技術をもつ機関、さらには NMR 技術を応用する機関が結集することにより、産業化への出口を見据えた研究開発を行う。

2. 本課題の説明

NMR 分光法は、その応用範囲の広さと情報量の多さから、幅広い分野で活躍しているが、原理的に感度が低いという難点がある。そのため、他の分析法に比べて測定に時間がかかってしまう、あるいは大量に被測定試料が必要という欠点がある。よって、NMR 装置開発の歴史は、感度改善の歴史であったと言える。しかし、その結果、高性能機は装置が大型化、高価格化し、また技術的限界にほぼ到達している状態とも言える (Fig.1)。

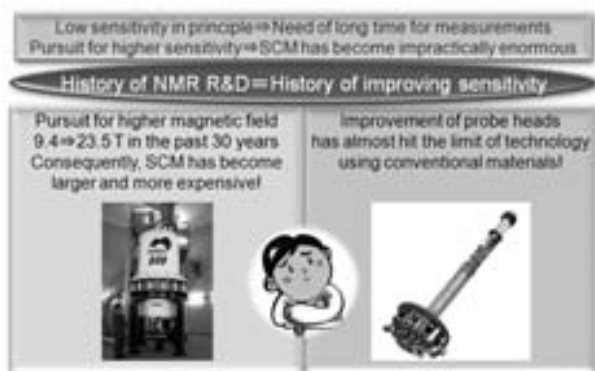


Fig.1 Limitation of the current generation NMR technology

本課題では、NMR システムの中核である超伝導磁石およびプローブ(検出器)に高温超伝導材料を適用し、性能と利便性を大幅に向上した次世代 NMR システムを開発する。具体的には、高強度の高温超伝導線材で高磁場超伝導磁石を小型化し、液体ヘリウムの補充を不要にすることで、一般施設への高磁場システムの設置を可能にする。また、高温超伝導材料を NMR 検出コイルとする超高感度プローブの実用化研究を行う。これらを組み合わせることで、従来と比較して最大 30 倍の測定感度、最大 1000 倍のスループットを目指す (Fig.2)。

これにより、新規 NMR ユーザーの開拓、液体ヘリウムなどの冷媒を入手困難な地域への導入を促進する。さらに、小型高感度という特長を活かした多様な研究開発、医療診断、生産機関への普及拡大を実現する。本プロジェクトは、NMR システム開発で世界をリードし、超伝導技術を基盤にした新産業を創出するものである。

3. おわりに

本課題は、独立行政法人科学技術振興機構 戦略的イノベーション創出推進事業 研究開発テーマ「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」において提案を行い、平成 22 年 1 月に採択されたものである。

当日の講演では、研究開発構想、目標と計画、開発課題、研究開発体制などについて説明する。

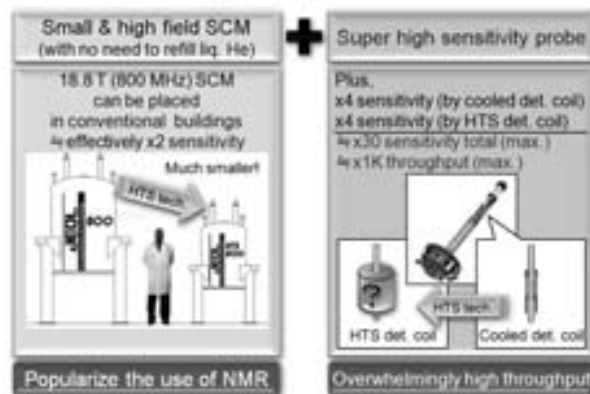


Fig.2 Target of R&D: the next-generation NMR using HTS materials

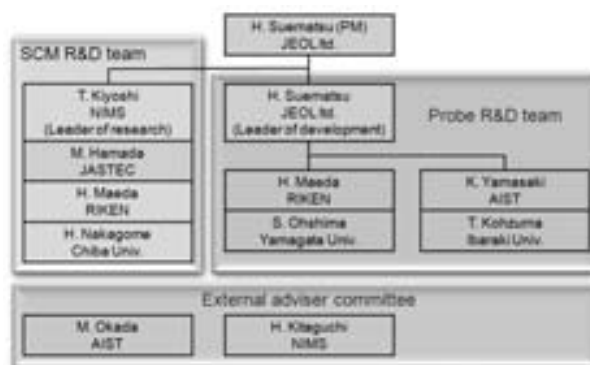


Fig.3 Organization of R&D

参考文献

1. T. Mizuno, K. Hioka, K. Fujioka and K. Takegoshi: Review of Scientific Instruments, 79 (2008) 044706
2. A. Otsuka, et al.: TEION KOGAKU (J. Cryo. Soc. Jpn.), 43 (2008) 287
3. A. Otsuka and T. Kiyoshi: TEION KOGAKU (J. Cryo. Soc. Jpn.), 42 (2007) 196
4. Y. Yanagisawa, et al.: Journal of Magnetic Resonance, 203 (2010) 274
5. Y. Koyama, et al.: Physica C, 469 (2009) 694
6. 超電導応用研究会シンポジウム講演論文集, 15 (2008) 199

次世代鉄道システムを創る超伝導技術イノベーション Innovations of superconducting technology for next-generation railway systems

富田 優 (鉄道総合技術研究所)
Tomita Masaru (Railway Technical Research Institute)
E-mail: tomita@rtri.or.jp

1. はじめに

本研究課題では、鉄道の広い範囲で超伝導の基礎技術を確立するため、電化区間への導入技術としては、鉄道用の送電ケーブルを目指した基盤研究を進め、非電化(無架線)区間への導入技術としては、超伝導による補助電源システムを目指した基盤研究を行う。

2. 研究課題概要

次世代鉄道システム(図 1)に必要な鉄道用の超伝導直流送電ケーブルの開発を行い、電力貯蔵装置と電池を組み合わせたシステムについて検討する。また、材料性能向上は機器の経済性改善に直結するため、開発前半を中心に材料高度化にも取り組む。

本研究課題はステージⅠ(応用基礎研究及び要素技術の研究開発)を 2009～2012 年度までの 4 年間で、ステージⅡ(要素技術の研究開発)を 2013～2016 年度までの 4 年間で、ステージⅢ(アプリケーションの開発)を 2017～2018 年度までの 2 年間で行う。

参画企業は、(財)鉄道総合技術研究所(プロジェクトマネージャー兼開発リーダー富田優)、住友電気工業(株)、(株)前川製作所、参画研究機関は、(独)物質・材料研究機構(研究リーダー北口仁)、東京大学(工学系研究科、新領域創成科学研究科)、京都大学(工学研究科)、九州大学(システム情報科学研究院、総合理工学研究院)の計 10 機関の共同研究による研究開発体制で課題を進めていく。その他、鉄道事業者からなるアドバイザー委員会を構成し、意見交換を通じて導入者側からの要求(「現場の声」)を開発する機器に反映させるための素地とする。

図 2 に研究開発工程の概略を示す。各開発項目内、及び、各研究項目相互の連携を効果的に進めるため、10kA の鉄道用直流超伝導ケーブル導入に向け、「鉄道システムとの融合」、「直流超伝導ケーブル」、「冷却システム」、「材料高度化」の 4 つのグループを柱として研究を行っていく。材料高度化では線材性能を現状(線材あたりの電流密度 200 A/mm²)から、ステージⅠで 50%、ステージⅡ、Ⅲを通じて 100%向上さ

せて現状の2倍の性能を目指す。また、補助電源装置に関しては、「鉄道システムとの融合」と連携をとりつつ、概念検討、基本設計検討に取り組む。

3. おわりに

本研究課題実施によって、高温超伝導のポテンシャルを最大限引き出し、超伝導システムとして新しい産業創成の礎を築き、さらにその技術の普及による新産業の創出を望みうる地平を切り開いていくことが出来ると考えられる。鉄道事業で長年運用されている直流送電方式に超伝導ケーブルを導入する試みは単純にも思えるが、システム構成から始まる多くの課題が山積している。そこで得られる要素技術が鉄道事業に活かされるのはもちろんのこと、エネルギー・電力応用分野など様々な分野で広い技術として繁栄することを期待される。

4. 謝辞

本研究開発は、文部科学省からの交付金を原資とし実施する「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」事業の 1 つとして、JST 科学技術振興機構の委託契約に基づき実施する。

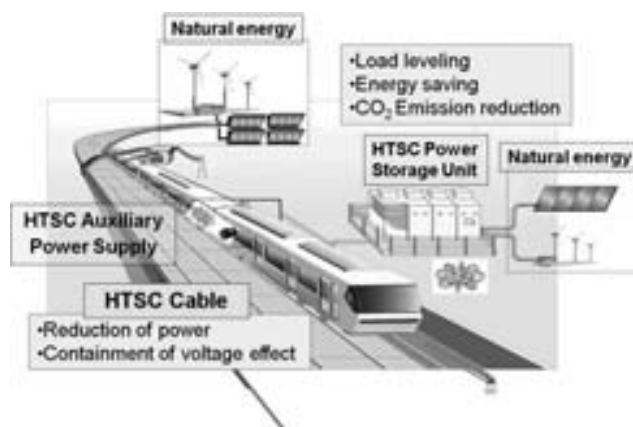


Fig.1 Next-generation railway systems

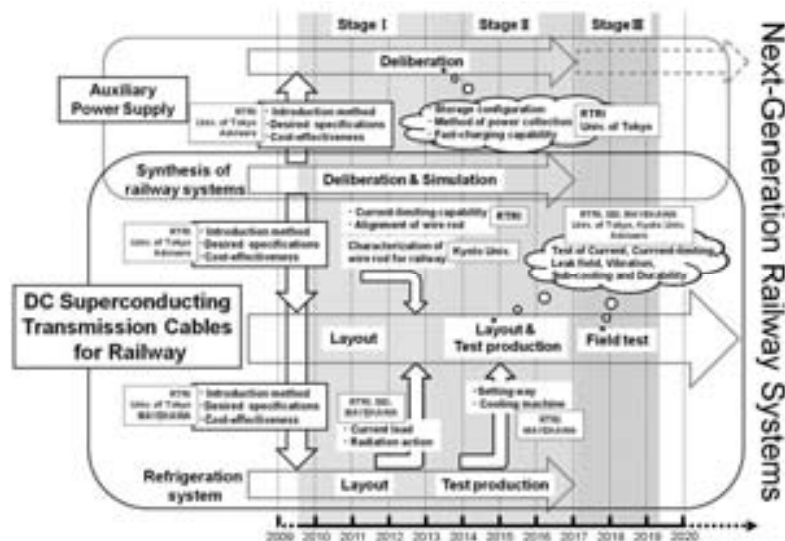


Fig.2 Process of research and development