MgB₂ 線材を用いた液体水素移送ポンプシステムの開発^{*1}

柁川 一弘^{*2,†}, 久家 広嗣^{*3}, 井上 拓郎^{*3}, 渡辺 和樹^{*3}, 内田 侑史^{*3},
中村 武恒^{*4}, 小林 弘明^{*5}, 本郷 素行^{*5}, 小島 孝之^{*5}, 田口 秀之^{*5},
成尾 芳博^{*5}, 和久田 毅^{*6}, 田中 和英^{*6}

Development of a Liquid Hydrogen Transfer Pump System with MgB₂ Wires^{*1}

Kazuhiro KAJIKAWA^{*2,†}, Hirotsugu KUGA^{*3}, Takuro INOUE^{*3}, Kazuki WATANABE^{*3}, Yushi UCHIDA^{*3},
Taketsune NAKAMURA^{*4}, Hiroaki KOBAYASHI^{*5}, Motoyuki HONGO^{*5}, Takayuki KOJIMA^{*5},
Hideyuki TAGUCHI^{*5}, Yoshihiro NARUO^{*5}, Tsuyoshi WAKUDA^{*6} and Kazuhide TANAKA^{*6}

Synopsis: An electric pump composed of an MgB₂ motor is combined with superconducting level sensors using thin CuNi-sheathed MgB₂ wires to transfer liquid hydrogen. An impeller is attached to the lower end of a rotating shaft on the MgB₂ motor and covered with an outer casing to form a centrifugal pump. Then, the MgB₂ motor and impeller are placed vertically inside a cryostat with an infill of liquid hydrogen. A glass Dewar vessel is prepared to receive the liquid hydrogen transferred from the cryostat containing the MgB₂ motor. The MgB₂ sensors are used not only to detect the level of liquid hydrogen but also to control the electric pump on the basis of their pre-estimated calibration curves. By using the assembled pump system, the liquid hydrogen is successfully transferred from the cryostat to the glass Dewar vessel via a transfer tube. (Translation of the article originally published in Cryogenics 52 (2012) 615–619)

Keywords: centrifugal pump, liquid hydrogen, magnesium diboride, superconducting level sensor, superconducting motor
(Some figures in this article may appear in colour only in the electronic version.)

1. はじめに

昨今のエネルギー問題や環境問題を改善するための先進技術の1つとして、水素エネルギー社会の可能性が検討さ

れている^{1,2)}。燃料電池等を使って水素を酸化することによりエネルギーを持続的に得るためには、水素を安全かつ安定的に製造、輸送、貯蔵、移送するための社会システムを構築する必要がある。その際、圧縮ガスとしてだけではなく、液化ガスとして水素を利用することも特に大量輸送・貯蔵の段階で必須となる。何故なら、圧縮水素ガスに比べて、大気圧下にある液体水素の方が密度は大きいためである³⁾。一方、2001年に発見された新しい金属系超電導体である二ホウ化マグネシウム(MgB₂)は39 Kの臨界温度を有するため⁴⁾、大気圧下における液体水素の沸点に近い20 Kにおいて、電気抵抗ゼロの超電導状態を維持できる。そこで、MgB₂線材を用いた液体水素温度で動作する超電導機器の実現が期待されている⁵⁻¹¹⁾。

これまでに、液体水素を循環もしくは移送するための電気式ポンプを駆動する全超電導モータが提案されている⁹⁾。モータのかご型回転子巻線をMgB₂線材で構成することにより、同期回転の実現に伴い極低温環境下で発生する損失を大幅に低減可能となり、同期トルクや出力の向上も見込まれる¹²⁾。また、モータの固定子巻線をMgB₂線材で超電導化することにより、液体水素温度に冷却した銅線に比べて1次巻線損失を大幅に低減可能となる¹³⁾。他方で、

Received November 5, 2012

^{*1} 原著論文は Cryogenics 52 (2012) 615–619 に掲載

^{*2} 九州大学 超伝導システム科学研究センター

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

Research Institute of Superconductor Science and Systems, Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

^{*3} 九州大学大学院 システム情報科学府

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

^{*4} 京都大学大学院 工学研究科

〒615-8510 京都府京都市西京区京都大学桂 1

Kyoto University, Kyoto Daigaku Katsura 1, Nishikyo-ku, Kyoto 615-8510, Japan

^{*5} 宇宙航空研究開発機構 研究開発本部

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町 7-44-1

Japan Aerospace Exploration Agency, 7-44-1 Jindaiji Higashi-machi, Chofu, Tokyo 182-8522, Japan

^{*6} (株)日立製作所 日立研究所

〒319-1292 茨城県日立市大みか町 7-1-1

Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd., 7-1-1 Omika-cho, Hitachi, Ibaraki 319-1292, Japan

[†] E-mail: kajikawa@sc.kyushu-u.ac.jp

CuNi シース MgB₂ 線材を用いた超電導式液面計がこれまでに試作され、液体水素中で試験された⁸⁾。その結果、極低温環境下での発熱量を抑制して液体水素用 MgB₂ 液面計を実現するためには、細線化と臨界温度の低減が有効なことがわかった。さらに、ヒータ入力不要な超電導式液面計を実現するために、CuNi シース MgB₂ 線材における常電導部自動生成現象の物理的機構を実験的に解明した¹⁵⁾。

本論文では、液体水素を移送するために開発した超電導ポンプシステムについて述べる。本ポンプシステムの主要部は、MgB₂ 液面計と MgB₂ モータで構成される。MgB₂ 液面計は、容器内に充填した液体水素の液位の検出だけではなく、MgB₂ モータの回転制御にも利用した。構築したポンプシステムを用いて、液体水素の移送試験を実施した。

2. 超電導式液面計の較正

容器内に充填した液体水素の液位を検出するために、線径 0.0925 mm と 0.155 mm をもつ 2 種類の CuNi シース MgB₂ 線材を使用した。両線材の当初の長さは約 300 mm である。0.0925 mm 径線材の臨界温度は 30 K、0.155 mm 径線材は 33 K である。これらの線材を用いて、2 本の超電導式液面計を製作した。各 MgB₂ 線材の両端に銅線を事前に半田付けし、中空のペークライト管の中心軸上に設置した。銅線は、MgB₂ 線材を直線状に保つとともに、電極への取り付けを容易にするために使用した。液面計製作後の有効長は、0.0925 mm 径線材が 260 mm、0.155 mm 径線材が 280 mm である。CuNi シース MgB₂ 線材は、電流通電に伴い常電導部が自動的に生成するため¹⁵⁾、電極上部付近にヒータを取り付けていない。各 MgB₂ 線材の感応部下端のすぐ横に PtCo 温度計を取り付け、この位置に液面が到達した瞬間の MgB₂ 液面計の出力も測定した。

容器内に繰り返し液体水素を充填した際における、製作した MgB₂ 液面計の出力電圧の実験結果を、白印で Fig. 1 に示す。Fig. 1(a), (b)はそれぞれ、0.0925 mm 径と 0.155 mm 径の MgB₂ 液面計の実験結果である。液体水素の液位は別に、市販の静電容量式液面計を用いて評価したが、その下端は MgB₂ 液面計よりも数十 mm 高く、全ての範囲をカバーしていない。実験を何度か繰り返して、0.0925 mm 径と 0.155 mm 径の MgB₂ 液面計における最適電流値をそれぞれ、150 mA および 300 mA と決定した。Fig. 1 より、MgB₂ 液面計の出力の再現性が非常に良好なことがわかる。Fig. 1 における実線は、製作した MgB₂ 液面計の較正曲線を表している。また、黒印は、PtCo 温度計が液位を検出した瞬間における MgB₂ 液面計の出力電圧を示している。各々の MgB₂ 液面計に対する静電容量式液面計に基づく較正曲線を外挿すると、PtCo 温度計に基づいた出力電圧と良く一致することがわかる。

Fig. 1 Dependence of output voltages from liquid hydrogen level sensors with MgB₂ wires of diameter (a) 0.0925 mm and (b) 0.155 mm. The calibration curves are drawn as solid lines.

3. 超電導モータの回転試験

高温超電導誘導／同期モータ¹⁶⁻¹⁸⁾を製作するために、市販誘導機の回転子巻線を MgB₂ かご型巻線で置き換えた。回転子巻線に使用した MgB₂ 線材は、外側の銅シースとそのすぐ内側のニオブシース内に MgB₂ 単芯コアをもつ 3 層構造単芯線である。この MgB₂ 線材を無酸素銅製の治具内に半田で固定し、ローターバーとエンドリングを製作した。MgB₂ 線材の臨界電流は、20 K の自己磁界中で 336 A である。本 MgB₂ 回転子巻線は、文献¹²⁾で詳述している。一方、固定子については、市販誘導機の銅線と鉄心で構成されたものを使用した。この市販誘導機の諸元は、容量 1.5 kW、入力電圧 200 V、周波数 60 Hz である。また、3 相 4 極のため、同期回転速度は 1800 rpm である。

液体水素中に浸漬した MgB₂ モータに対する無負荷試験の結果を、Fig. 2 に示す。試験手順として、まず始めに入力電圧を 0 V から 200 V まで一定速度で増加させ、しばら

Fig. 2 Experimental results of no-load test of MgB_2 motor in liquid hydrogen. The frequency is fixed at 60 Hz. The inset shows the torque for input voltage.

く保持した後、200 V から 0 V まで入力電圧を減少させた。周波数は 60 Hz である。Fig. 2 からわかるように、当初、 MgB_2 モータは全く回転せず、入力電流が単調に増加した。その後、約 50 V の入力電圧で MgB_2 モータはゆっくりと回転し始めた。さらに、入力電圧約 70 V において、モータの回転速度が同期速度 1800 rpm に向けて急上昇し、入力電流も急激に減少した。固定子巻線の 1 相当あたりのターン数は 26.7 なので、減少直前の入力電流の実効値約 10 A は、約 270 A の二次電流に相当する。これは、回転子巻線に使用した MgB_2 線材 1 本の臨界電流にほぼ近い値となっている。また、Fig. 2 の挿入図からわかるように、回転数が急上昇する際のみ約 0.4 N·m のトルクを観測した。さらに入力電圧を 200 V まで増加させると、 MgB_2 モータはほぼ一定の 1800 rpm で回転し続け、入力電流も再びわずかに上昇した。入力電圧の減少時についても、 MgB_2 モータは 1800 rpm の同期回転速度を維持し、数十 V から徐々にゼロとなった。モータ停止直前の約 100 rpm の回転速度は、本研究で使用したタコメータからの見かけの出力であり、実際の回転速度はゼロである。

4. ポンプシステムを用いた液体水素移送

4.1 実験装置の概要

前記の MgB_2 液面計と MgB_2 モータを組み合わせた液体水素移送を実演するために、Fig. 3 に示すようなポンプシステムを構築した。 MgB_2 モータの下方の回転軸にアルミ製のインペラ（羽根車）を取り付け、その周囲をケーシングすることにより遠心ポンプを形成した。インペラの外径、高さ、ブレード数はそれぞれ、110 mm、6.5 mm、6 枚である。外部ケーシングには内径 20 mm の噴き出し口が取り付けられており、回転速度 1800 rpm における液体ヘリウムに対する流量と揚程の設計値はそれぞれ、毎分 120 リット

(a)

(b)

Fig. 3 (a) Photograph of pump system for demonstration of liquid hydrogen transfer and (b) schematic diagram of pump system with MgB_2 motor and MgB_2 level sensors.

ルおよび 6 m である。ただし、 MgB_2 モータの回転軸とケーシングの間にはミリメートル未満のギャップがあり、インペラにより押し出された冷媒はこのギャップを通して外部に容易に漏れ出すため、期待される流量は設計値よりもずっと小さくなることを付記する。インペラ付きの MgB_2 モータを金属（ステンレス）製のクライオスタット内部に鉛直に配置し、液体水素を充填した。市販されている室温用の回転軸付き磁性流体シールを金属製クライオスタットのトップフランジに設置し、 MgB_2 モータの回転数とトルクを室温部で計測した。磁性流体シールと MgB_2 モータの回転軸同士を、ステンレス製の延長棒とカップリング 2 個を用いて連結した。0.155 mm 径の MgB_2 液面計を金属製クライオスタット内に鉛直に配置し、その内部の液体水素の液位を計測した。また、 MgB_2 モータを設置した金属製クライオスタットから移送される液体水素を受け入れるために、別容器であるガラスデュワーも用意した。このガラスデュワー内に、もう 1 本の MgB_2 液面計（0.0925 mm 径）を鉛直に配置し、その内部の液体水素の液位を計測した。ガラスデュワー内面の銀ペースト間の狭

いスリットを通して、内部の液体水素の状態を映像として記録するために、ネットワークビデオカメラも準備した。金属製クライオスタットとガラスデュワーを、有効内径 10 mm のトランスファーチューブを介して接続した。つまり、最終的な流量の設計値は、内径 20 mm の噴き出し口に対する有効断面積の減少分を考慮すると、4 分の 1 に小さくなることが想定される。金属製クライオスタットとガラスデュワーからの蒸発ガスは、直接配管した常圧のベントラインを通して大気中に放出されるため、両容器内は常にほぼ大気圧に等しかった。金属製クライオスタットとガラスデュワーの内径はそれぞれ、400 mm および 153 mm である。

液体水素の自動送液試験を実施するために、MgB₂ 液面計からの出力信号を基に MgB₂ モータの回転を制御する LabVIEW[®] プログラムを自作した。試験開始に先立って事前に設定するモータ制御シーケンスの一例を、Fig. 4 に示す。Fig. 4 の縦軸は、モータの入力周波数を表している。一方、横軸は、事前に決定した液位の目標値とガラスデュワー内に設置した 0.0925 mm 径の MgB₂ 液面計で観測される実際の液位との差である。Fig. 4 は、目標値と実際の液位の差が液面計の有効長 260 mm の 20% よりも小さいとき、MgB₂ モータの入力周波数を 30 Hz に設定することを意味する。一方、差が 20% よりも大きいときは、入力周波数を 40 Hz に設定する。ただし、液位が低く、差が 100% よりも大きいときは、金属製クライオスタット内の液体水素残量がモータの冷却に十分な限り、MgB₂ モータへの入力周波数を 40 Hz とする。また、実際の液位が目標値よりも高く、差がゼロよりも小さな場合は、MgB₂ モータに指令を出さない。MgB₂ モータは、パルス幅変調 (PWM) インバータを V/f 制御して動作させたが、電圧 V と周波数 f の

Fig. 4 Example of sequence of motor control for automatic transfer of liquid hydrogen based on difference between predetermined target value and output from level sensor located in glass Dewar vessel.

比を 200 V/60 Hz に設定した。つまり、PWM インバータの出力周波数を 30 Hz (もしくは 40 Hz) に設定すると、出力電圧が 100 V (もしくは 133 V) となる。Fig. 4 の黒丸は自作プログラムへの入力値を表しており、その隣接する全ての入力値を補間して各々の実線を生成するため、必要であれば、Fig. 4 とは異なる任意のモータ制御シーケンスを事前に設定可能である。

4.2 実験結果

MgB₂ モータの異なる回転速度に対する液体水素の流量の実験結果を、Fig. 5 に示す。Fig. 5 には、延長棒を取り付けた場合と取り外した場合の結果を併記しているが、取り外した場合の回転速度は直接観測できないため、入力周波数をそのまま回転速度に換算した。Fig. 5 より、回転速度が 750 rpm 以下のとき、液体水素を全く移送できないことがわかる。一方、回転速度が 900 rpm 以上になると、回転速度とともに流量が増加する。その結果、回転速度 1800 rpm において、毎分約 6 リットルの流量を得ることができた。ただし、延長棒を取り付けた場合と取り外した場合で多少の相違が見られる。流量は幾つかの条件、例えば、金属製クライオスタット内の微小な圧力変化や液体水素の残量等に敏感なようであり、有意の差はないといえる。特に、金属製クライオスタット内の液体水素の残量については、準備した MgB₂ 液面計 (0.155 mm 径) の有効長が短く、今回の試験中はほとんどの場合に液体水素中に浸漬していたため、実験結果に与える影響は評価できなかった。

自作プログラムで事前に設定するモータ制御シーケンスのパターンを幾つか変更して、液体水素の自動送液試験を実施した。Fig. 6 は、Fig. 4 に示すモータ制御シーケンスに基づく実験結果の一例である。Fig. 6(a)は、ガラスデュワー内に設置した 0.0925 mm 径の MgB₂ 液面計により測定

Fig. 5 Experimental flow rates of liquid hydrogen for fixed rotation speeds. Flow rates are observed for the cases with and without the rod to connect the magnetic fluid sealing device with the upper end of rotating shaft of the motor.

Fig. 6 Examples of automatic transfer of liquid hydrogen. (a) represents the time evolution of the liquid level in the glass Dewar vessel measured by the MgB_2 level sensor with 0.0925-mm wire, whereas (b) shows the temporal dependence of input voltage and current of the MgB_2 motor inside the metal cryostat. The vertical dashed lines represent the times when the motor's rotation speeds begin to vary.

した液位の時間変化を表している。一方、Fig. 6(b)は、金属製クライオスタット内に設置した MgB_2 モータの入力電圧と入力電流の時間変化である。Fig. 6 からわかるように、ガラスデュワー内の液体水素の液位は、当初約 34%であった。90%の液位を目標値として指定すると、 MgB_2 モータは時刻 $t = 0$ に回転速度 1200 rpm で回転し始めた。その後、トランスファーチューブ内の温かい水素ガスが流入することにより、ガラスデュワー内の液位はわずかに下降するが、トランスファーチューブ内が冷却されると、ほぼ一定速度で液位は上昇し始めた。ガラスデュワー内の液位が 70%に到達し、目標値との差が 20%よりも小さくなると、シーケンスに従って MgB_2 モータの回転数は自動的

に 1200 rpm から 900 rpm へ変化した。その結果、流量は急激に低下した。最終的にガラスデュワー内の液位が目標値である 90%に到達すると、 MgB_2 モータの回転は自動的に停止し、液位は 90%付近で一定となった。このように、自作プログラムにより MgB_2 液面計の出力に基づいて MgB_2 モータを回転制御できたが、ポンプシステムの実用化に際しては、より複雑なモータ制御シーケンスが必要となる。 MgB_2 モータの回転中における入力電流は、始動時以外は 2.35 A でほぼ一定だった。

5. まとめ

MgB_2 モータと MgB_2 液面計を組み合わせた、液体水素移送ポンプシステムを構築した。 MgB_2 モータの回転軸のアルミ製のインペラを取り付けてケーシングすることにより、遠心ポンプを形成した。 MgB_2 液面計は、容器内にある液体水素の液位を検出するだけでなく、 MgB_2 モータの回転制御にも利用した。構築したポンプシステムを用いて、充填容器から別容器への液体水素の移送に成功した。

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の平成 20 年度産業技術研究助成事業 (課題番号：08B38006a) の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) H. Hirabayashi: "Liquid hydrogen and applied superconductivity —For advanced utilization in the community—," TEION KOGAKU **40** (2005) 276–283 (in Japanese)
平林洋美:「液体水素と超伝導応用 —広く社会に普及させるために—」, 低温工学 **40** (2005) 276–283
- 2) P. Mikheenko: "Superconductivity for hydrogen economy," J. Phys. Conf. Ser. **286** (2011) 012014
- 3) R.D. McCarty: "Hydrogen technology survey —Thermophysical properties," NASA Special Publication **SP-3089** (1975)
- 4) J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani and J. Akimitsu: "Superconductivity at 39 K in magnesium diboride," Nature **410** (2001) 63–64
- 5) P.M. Grant: "The SuperCable: Dual delivery of chemical and electric power," IEEE Trans. Appl. Supercond. **15** (2005) 1810–1813
- 6) Ch. Haberstroh and G. Zick: "A superconductive MgB_2 level sensor for liquid hydrogen," Adv. Cryo. Eng. **51** (2006) 679–684
- 7) M. Takeda, Y. Matsuno, I. Kodama and H. Kumakura: "Characteristics of MgB_2 sensor for detecting level of liquid hydrogen," Adv. Cryo. Eng. **53** (2008) 933–939
- 8) K. Kajikawa, K. Tomachi, N. Maema, M. Matsuo, S. Sato, K. Funaki, H. Kumakura, K. Tanaka, M. Okada, K. Nakamichi, Y. Kihara, T. Kamiya and I. Aoki: "Fundamental investigation of a superconducting level sensor for liquid hydrogen with MgB_2 wire," J. Phys. Conf. Ser. **97** (2008) 012140
- 9) K. Kajikawa and T. Nakamura: "Proposal of a fully superconducting motor for liquid hydrogen pump with MgB_2 wire," IEEE Trans. Appl. Supercond. **19** (2009) 1669–1673

- 10) Y. Shirai, H. Tatsumoto, M. Shiotsu, K. Hata, H. Kobayashi, Y. Naruo, Y. Inatani and K. Kinoshita: "Forced flow boiling heat transfer of liquid hydrogen for superconductor cooling," *Cryogenics* **51** (2011) 295–299
- 11) T. Hamajima, H. Amata, T. Iwasaki, N. Atomura, M. Tsuda, D. Miyagi, T. Shintomi, Y. Makida, T. Takao, K. Munakata and M. Kajiwara: "Application of SMES and fuel cell system combined with liquid hydrogen vehicle station to renewable energy control," *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **22** (2012) 5701704
- 12) T. Nakamura, Y. Yamada, H. Nishio, K. Kajikawa, M. Sugano, N. Amemiya, T. Wakuda, M. Takahashi and M. Okada: "Development and fundamental study on a superconducting induction/synchronous motor incorporated with MgB_2 cage windings," *Supercond. Sci. Technol.* **25** (2012) 014004
- 13) K. Kajikawa, R. Osaka, T. Nakamura, M. Sugano and T. Wakuda: "AC loss evaluation of MgB_2 superconducting windings located in a stator core slot with a finite-element method," *J. Supercond. Nov. Magn.* **24** (2011) 987–991
- 14) K. Kajikawa, K. Tomachi, K. Tanaka, K. Funaki, T. Kamiya, M. Okada and H. Kumakura: "Numerical simulation of a superconducting level sensor for liquid hydrogen with MgB_2 wire," *Proc. of ICEC22/ICMC2008* (2009) 425–430
- 15) A. Jokinen, K. Kajikawa, M. Takahashi and M. Okada: "Automatic development of normal zone in composite MgB_2/CuNi wires with different diameters," *J. Phys. Conf. Ser.* **234** (2010) 012021
- 16) T. Nakamura, H. Miyake, Y. Ogama, G. Morita, I. Muta and T. Hoshino: "Fabrication and characteristics of HTS induction motor by the use of Bi-2223/Ag squirrel-cage rotor," *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **16** (2006) 1469–1472
- 17) T. Nakamura, Y. Ogama, H. Miyake, K. Nagao and T. Nishimura: "Novel rotating characteristics of a squirrel-cage-type HTS induction/synchronous motor," *Supercond. Sci. Technol.* **20** (2007) 911–918
- 18) T. Nakamura, K. Nagao, T. Nishimura, Y. Ogama, M. Kawamoto, T. Okazaki, N. Ayai and H. Oyama: "The direct relationship between output power and current carrying capability of rotor bars in HTS induction/synchronous motor with the use of DI-BSCCO tapes," *Supercond. Sci. Technol.* **21** (2008) 085006

柁 川 一 弘 1968 年生。1990 年九州大学工学部電子工学科卒業。1992 年同大学院工学研究科修士課程（電子工学専攻）修了。現在、九州大学超伝導システム科学研究センター准教授。主に超伝導線の電磁特性評価や熱的安定性評価、および超伝導技術の液体水素応用に関する研究開発に従事。低温工学・超電導学会、電気学会、応用物理学会、IEEE 会員。博士（工学）。

久 家 広 嗣 1987 年生。2010 年九州大学工学部電気情報工学科卒業。2012 年同大学院システム情報科学府修士課程（電気電子工学専攻）修了。 MgB_2 モータおよび液体水素移送ポンプの研究開発に従事。現在、九州旅客鉄道(株)勤務。

井 上 拓 郎 1987 年生。2010 年九州大学工学部電気情報工学科卒業。2012 年同大学院システム情報科学府修士課程（電気電子工学専攻）修了。 MgB_2 液面計の研究開発に従事。現在、九州電力(株)勤務。

渡 辺 和 樹 1988 年生。2011 年九州大学工学部電気情報工学科卒業。現在、同大学院システム情報科学府修士課程（電気電子工学専攻）在学。 MgB_2 液面計の研究開発に従事。低温工学・超電導学会、電気学会会員。

内 田 侑 史 1989 年生。2012 年九州大学工学部電気情報工学科卒業。現在、同大学院システム情報科学府修士課程（電気電子工学専攻）在学。 MgB_2 モータの研究開発に従事。低温工学・超電導学会、電気学会会員。

中 村 武 恒 1969 年生。1993 年九州大学工学部電子工学科卒業。1998 年同大学院システム情報科学研究科博士後期課程（電気電子システム工学専攻）修了。同年京都大学勤務。2005 年同助教授、現在同准教授。主として、車載システム、分散電源、超電導回転機と同マグネット技術開発に従事。低温工学・超電導学会、電気学会、応用物理学会、未踏科学技術協会（超電導科学技術研究会）。博士（工学）。

小 林 弘 明 1972 年生。東京都出身。2001 年東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了、博士（工学）。同年宇宙科学研究所に入所、ATREX エンジン研究開発に従事した後、現在、宇宙航空研究開発機構ジェットエンジン技術研究センター主任研究員。専門：極超音速推進・極低温燃料技術。

本 郷 素 行 1960 年生。東京都出身。1985 年東海大学工学部卒業。1986 年東京大学工学部精密機械工学科技官。1990 年文部省宇宙科学研究所技官を経て、現在、宇宙航空研究開発機構研究開発本部ジェットエンジン技術研究センター主任研究員。極超音速推進システムの研究開発に従事。

小 島 孝 之 1973 年生。神奈川県出身。2002 年東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了、博士（工学）。同年宇宙科学研究所 COE 研究員、2003 年航空宇宙技術研究所入所。現在、宇宙航空研究開発機構航空プログラムグループ事業推進部主任。

田 口 秀 之 1968 年生。栃木県出身。1993 年東京大学大学院工学系研究科航空工学専攻修士課程修了、2005 年博士（工学）。三菱重工業(株)を経て、1996 年航空宇宙技術研究所入所。現在、宇宙航空研究開発機構研究開発本部ジェットエンジン技術研究センター主幹研究員。

成 尾 芳 博 1953 年生。長野県出身。1977 年日本大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程修了。同年、東京大学宇宙航空研究所入所、1981 年宇宙科学研究所助手を経て、現在、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所宇宙飛行工学研究系助教。液水エンジン及び再使用型宇宙輸送システムの研究開発に従事。

和 久 田 毅 1969 年生。1992 年九州大学工学部電子工学科卒業。1997 年同大学院システム情報科学研究科博士後期課程（電気電子システム工学専攻）修了。現在、(株)日立製作所日立研究所に勤務。主に超伝導マグネットの研究開発に従事。低温工学・超電導学会、電気学会会員。博士（工学）。

田 中 和 英 1987 年(株)日立製作所日立研究所に勤務。主として酸化物系・ MgB_2 超電導線材の開発に従事。2009 年 3 月九州大学大学院システム情報科学府博士後期課程（電気電子システム工学専攻）修了。低温工学・超電導学会、応用物理学会会員。博士（工学）。