

【2】超伝導実験遠隔制御システム(平成13年度～)

構成員

代表責任者	小川雄一	東京大学高温プラズマ研究センター
分担責任者	小川雄一	東京大学高温プラズマ研究センター
参加研究者	森川惇二	東京大学高温プラズマ研究センター
	三戸利行	核融合科学研究所
	柳長門	核融合科学研究所
	田村仁	核融合科学研究所

はじめに

東京大学高温プラズマ研究センターでは、高温超伝導コイルを真空容器内で磁気浮上させた内部導体プラズマ閉じ込め装置 Mini-RT を建設し、新しい緩和過程を利用した超高ベータプラズマの閉じ込め実験を行っている。この装置では永久電流スイッチを有した Bi-2223 高温超伝導コイル(直径 300 mm)を、直径 1 m の真空容器内で真空容器外側上部に設置された吊り上げコイルにより中空に磁気浮上している。高温超伝導コイルの核融合プラズマ実験装置への適用は世界で初めての試みであるとともに、磁気浮上させる高温超伝導コイルも世界で初めてのものである。このため、このコイルの開発にあたっては、当初より核融合科学研究所の低温・超伝導グループと九州大学超伝導研究センターとの共同研究として開始し、コイルの設計から始め、装置完成後の冷却・励磁試験、およびプラズマ実験についても緊密な協力関係のもとで遂行してきている。遠隔地間の共同研究をスムーズに進めるうえで、高速のネットワークを用いた情報の共有は非常に有益であり、スーパー-SINET が設置されて以降、共同研究のアクティビティがさらに高まっている。

また近年、理科教育の重要性が謳われてきており、スーパーサイエンスハイスクール(SSH)活動などが盛んになってきている。その一環として、多くの高校生が大学の研究室を訪問する機会も増えてきており、本研究での高温超伝導コイルの磁気浮上実験も活用されている。高校生達は本磁気浮上システムの遠隔での操作に高い関心を示しており、多くの高校生が遠隔操作を実体験する場として大いに役立っている。

研究目的

本研究では、超小型の高温超伝導コイル(FB-RT 装置)を用いた磁気浮上実験での経験と実績を踏まえて、プラズマ実験が可能な小型高温超伝導コイルを有する内部導体装置(Mini-RT)の設計・建設・運転を行っている。

FB-RT 装置は液体窒素で直接冷却された高温超伝導コイルを大気中で磁気浮上させるものであり、まずはアナログ制御での実験に成功した。今後は、これをデジタル制御や画像処理制御へと発展させることを狙っている。

Mini-RT装置では比較的大口径の真空容器内に高温超伝導コイルを磁気浮上させ、そのダイポール磁場で高温・高ベータプラズマの閉じ込めを狙ったものである。Mini-RT装置では、着脱式のトランスファーチューブ・チャッキ弁システム、着脱式の電流リード、そして永久電流スイッチなどを開発することにより、所期の目的である50 kAのコイル電流での永久

電流モードが達成された。さらにこれを20ミクロン程度の精度で1時間以上にわたり安定に制御でき、プラズマ実験に至った。現在は装置の信頼性向上と高性能プラズマ生成に向けて実験を進めている。

研究成果

高温超伝導コイルの冷却・励磁試験は、東京大学高温プラズマ研究センターの実験室に設置された Mini-RT 装置本体で行っている。このため、核融合科学研究所から実験に参加する共同研究者が短期あるいは長期で出張し、直接実験に参加している。ただし、諸般の事情により、毎回の実験において共同研究者全員が参加することは極めて難しい。そこでデータ(具体的には、超伝導コイルおよび冷却システムの各部の温度、電圧、電流、磁場など)を収集しているパソコンをスーパーSINET に接続し、核融合科学研究所の低温実験棟内に設置したパソコンに転送することによって、核融合科学研究所においてリアルタイムで参照することが可能となった。

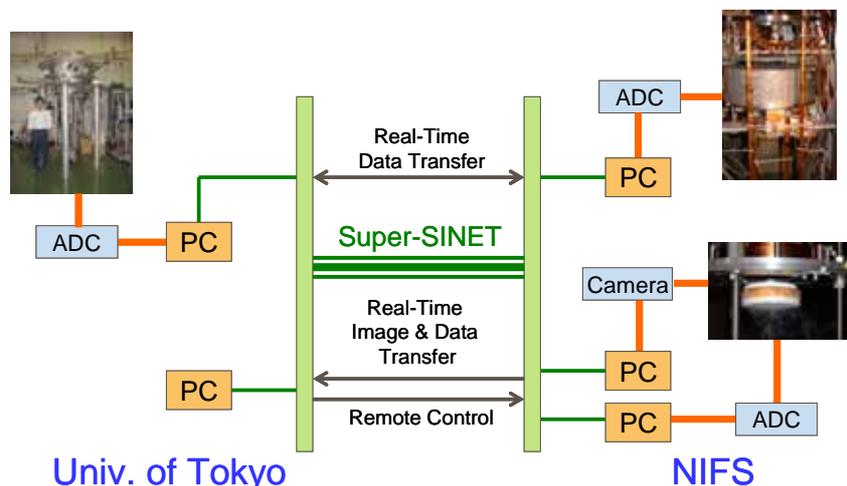


図 9-1 磁気浮上高温超伝導装置開発のための遠隔実験参加、遠隔制御システム

このため、核融合科学研究所側の低温工学・応用超伝導工学を専門とする研究者の判断や的確な指示が必要に応じて受けられるようになり、これらの研究者が現場で実験に参加しなくても、必要な機器の運転や実験を遂行することが可能となった。また、取得されたデータについては、核融合科学研究所側においてすぐに解析を行うことが可能となり、超伝導コイルの運転の最適化を短時間で行えるようになった。また、実際にこのおかげで試験開始当初に遭遇した数多くの技術的困難をすべて克服していくことに成功した。

以上のような遠隔操作 / 制御システムはスーパーSINETの高速情報通信により可能となった。この最新技術に高校生などの若い世代の人たちが接することは、科学技術創造立国を目指す日本にとって非常に有益である。東京大学高温プラズマ研究センターでは、プラズマ・核融合学会の活動の一環として、高校生を対象とした科学教育プログラムに参加し、スーパーSINET を利用したテレビ会議室システムの利用と共に、上述の最新技術を用いた遠隔操作 / 制御システムを高校生に実際に操作してもらい、科学技術への興味喚起に活用した。

まとめ

東京大学高温プラズマ研究センターの実験室に設置された Mini-RT 装置での冷却・励磁・プラズマ実験において、多種多様な実験データを長時間にわたりスーパーSINET を用いて核融合科学研究所の低温実験棟内に設置したパソコンに転送することによって、核融合科学研究所においてリアルタイムで参照することが可能となった。このため、核融合科学研究所側の低温工学・応用超伝導工学を専門とする研究者の判断や的確な指示が必要に応じて受けられるようになり、これらの研究者が現場で実験に参加しなくても、必要な機器の運転や実験を遂行することが可能となった。

一方、核融合科学研究所の低温実験棟に設置されている超小型の高温超伝導コイルの磁気浮上システム (FB-RT 装置) のデジタル制御や浮上位置制御のリアルタイム制御が可能となり、今後の研究発展にとって大変有益なシステムが構築できたと同時に、高校生を対象とした SSH 活動などにおいて、遠隔操作・制御システムの実体験の場として活用することができるようになった。

今後の計画・課題

従来の研究はビスマス系の高温超伝導線材を用いたものであったが、高温超伝導線材としては、その温度特性や磁場特性においてイットリウム系の線材の方が優れている。ただしイットリウム系線材は長尺テープの製造実績がなかったが、最近になって10 m程度のテープの製造ができるようになった。これをコイル化した時の特性劣化や磁気浮上制御などは、まさにこれからの研究課題である。

我々はFB-RT装置及びMini-RT装置で培ったビスマス系超伝導線材を用いた永久電流モード運転および磁気浮上技術を、イットリウム系超伝導線材での研究へと発展させる事を計画している。そこではイットリウム系線材の接続部での抵抗や低電界領域での磁束フロア抵抗などに対する新たな課題が生じる可能性がある。

【参考文献】

- ・小川雄一, 森川惇二, 大國浩太郎, 二瓶仁, 堀暖, 山越茂雄, 後藤拓也, 三戸利行, 柳長門, 岩熊成卓, 上出俊夫, 磁気浮上内部導体装置 Mini-RT の全体設計, 低温工学, 第 39 巻, 2004 年, 175-181.
- ・三戸利行, 柳長門, 小川雄一, 森川惇二, 大國浩太郎, 岩熊成卓, 上出俊夫, 能瀬眞

- 一, 伊藤郁夫, 福居滋夫, 長山俊毅, 奥野純一, Mini-RT 装置の設計・製作, 低温工学, 第 39 卷, 2004 年, 182 - 192.
- ・柳長門, 三戸利行, 森川惇二, 小川雄一, 濱口真司, 菱沼良光, 大國浩太郎, 堀暖, 岩熊成卓, 上出俊夫, Mini-RT装置用高温超伝導磁気浮上コイルの開発, 低温工学, 第 39 卷, 2004 年, 193 - 200.
- ・柳長門, 森川惇二, 三戸利行, 小川雄一, 大國浩太郎, 堀暖, 山越茂雄, 岩熊成卓, 上出俊夫, Mini-RT 装置用高温超伝導磁気浮上コイルの冷却・励磁試験, 低温工学, 第 39 卷, 2004 年, 201-208.
- ・森川惇二, 大國浩太郎, 堀暖, 山越茂雄, 後藤拓也, 小川雄一, 柳長門, 三戸利行, 内部導体装置 Mini-RT におけるプラズマ生成と高温超伝導コイルの磁気浮上実験, 低温工学, 第 39 卷, 2004 年, 209-215.
- ・Yanagi, N., Mito, T., Morikawa, J., Ogawa, Y., Ohkuni, K., Hori, D., Yamakoshi, S., Iwakuma, M., Uede, T., Itoh, I., Fukagawa, M., Fukui, S.; "Experiments of the HTS Floating Coil System in the Mini-RT Project", IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol.14, No.2 (2004) pp. 1539-1542.