

高圧ガス保安法の見直しに向けた環境・安全委員会活動報告

Report on the activities of the Environment and Safety Committee to review the regulations of the High Pressure Gas Safety Law.

池内 正充(前川); 神谷 祥二, 新郷 正志(川重); 中内 正彦(鉄道総研); 白井 康之(京大); 林 和彦(住電); 宮崎 淳(岩谷産業); 伊藤 聡(JASTEC); 野口 隆志(NIMS)

IKEUCHI Masamitsu (MAYEKAWA); KAMIYA Shoji, SHINGO Masashi (KHI); NAKAUCHI Masahiko (RTRI); SHIRAI Yasuyuki (Kyoto-Univ.); HAYASHI Kazuhiko (Sumitomo Electric Industries, LTD); MIYAZAKI Jun (Iwatani Corp.); ITO Satoshi (JASTEC); NOGUCHI Takashi (NIMS)

1. はじめに

環境・安全委員会は、2011年に学会発足と同時に従来の安全性検討委員会を改組して誕生し、これまで高圧ガス保安法の見直しに向けて活動を行ってきた。

2014年には経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室を訪問し、高圧ガス保安法、特に冷凍則の見直しに関し意見を伺った。その際、ヘリウムが冷凍則の不活性ガスに掲名された検討経緯が明らかであれば同様の進め方で検討を行っていかねばならないと、その調査を行うこととした。資料が乏しく最終結論を出すに至っていないが、いくつかの資料も明らかとなった。それらの資料の散逸を防ぎ今後の当委員会の活動に資する観点から今までの調査結果を報告する。

また上記活動の一環として本学会は今年より日本学術会議主催の安全工学シンポジウムに共催として参加し、本学会の安全活動について情報発信及び収集を行ったので概要を紹介する。

2. 規制見直しの要望

2008年12月に関西経済連合会より次世代環境技術の普及に関する要望[1]がだされ、冷却に関しては超電導ケーブル実証促進のために

- ・製造の許可・届出の緩和(高圧ガス保安法施行令)
- ・冷凍能力算定基準の見直し(冷凍保安規則(冷凍則))
- ・目視による日常点検の見直し(冷凍則)
- ・冷凍則の不活性ガスの種類の改訂(追加)

が挙げられ、低温工学協会(当時)にも規制見直しへの提言を求められた。

3. 高圧ガス保安室訪問

2011年に環境・安全委員会では改めて検討を行い、冷凍則の不活性ガスの種類追加(ネオンや窒素などをヘリウムガス同様第3グループへの掲名)と目視による日常点検項目に絞り、高圧ガス保安室を訪問し意見を伺った。不活性ガスの種類追加に関し、ヘリウムが入った場合と同様の進め方で検討を行うことが可能でありその調査を行うこと、及び、他の不活性ガスで実機を作り特認申請を行い実績を積んでいく方法もあるなどの助言を頂いた。

4. 冷凍則調査

冷凍則にヘリウムが入った時期を高圧ガス保安(取締)法規集にて調査を行った。その結果、1996年に保安検査の除外としてヘリウムを冷媒ガスとして使用する製造設備が掲名され、1999年に「不活性ガス」が用語として定義され(それまでは可燃性ガス、毒性ガスのみ定義)、ヘリウムは最初から掲名されていることが分かった。

法規集では改正項目しか分からないため、併せて冷凍則改正前後の文献を調査した。その結果、1978年にはGM冷凍機が冷凍則適用であり原動機出力1.2kWを1冷凍トンとする通達が出され[2]、1987-90年には当時の高エネルギー物理学研究所(KEK)のヘリウム冷凍機が冷凍則適用とされている[3]。1991年には日本機械工業連合会と高圧ガス保安協会の連名で超低温高圧ガス設備に関する保安技術の調査研究がなされている[4]。因みに2002年にはヘリウム冷凍機原動機動力1.2kWを1冷凍トンとする妥当性について、高圧ガス保

安協会から日本冷凍空調学会に対し見直し依頼があり、妥当との回答が出されている[5]。調査結果をTable.1に示す。

Table.1 Survey results on related items on high pressure gas safety law

| 年 | 項目 | 備考 |
|------|--|---|
| 1966 | 冷凍則制定 | |
| 1978 | He冷媒を使用したGM冷凍機は冷凍則適用。原動機定格出力1.2kW=1冷凍トン | 53保安第199号 MITI立地公害局保安課長⇒茨城県商工労働部長宛 |
| 1987 | KEK: QCS冷凍機冷凍則で受検。試験後解体条件。 | |
| 1988 | KEK: 試作QCS冷凍機実験棟内に冷凍則にて設置 | 高エネルギー研での40年を振り返って 低温工学 Vol.50.No.7(2015) |
| 1990 | KEK: QCS冷凍機4台(大穂, 富士, 筑波, 日光)冷凍則にて設置 | |
| 1991 | 先端産業関連高圧ガスの保安技術の開発報告書-超低温高圧ガス設備に関する保安技術の調査研究(平成3年) | 日本機械工業連合会&KHK 次年度に本格的検討とのことだが資料未入手 |
| 1996 | ●冷凍則: 保安検査が冷媒ガスの列挙から包括式(He等除外)へ改正。 | 平成8年2月26日省令第7号 |
| 1999 | ●冷凍則: 不活性ガスの定義新設。He等掲名 | 平成11年9月30日省令第87号 |
| 2002 | ヘリウム冷凍機能力の算定基準見直し依頼。1.2kW=1冷凍トン妥否と回答 | ヘリウム冷凍機能力算定について JSRAE⇒KHK |

●: 冷凍則改正項目

5. 安全工学シンポジウム

日本学術会議主催の安全工学シンポジウムは、安全工学に関する各分野における問題点提起、優れた研究成果の講演と技術交流により、安全工学および関連分野の発展に寄与することを目的として毎年開催されている。環境・安全委員会は、安全に対する学会のアピールや情報交換を通じた規制見直しのための活動の一環にもつながると考え今年度から参加した。

連携パネルディスカッション「安全な社会を支える人と技術」では当学会から野口隆志氏が参加した[6]。同パネルディスカッションでは5つの講演に続き特別講演者1名を加え表題に対する討議を行った。

6. おわりに

高圧ガス保安法の見直しは今後も学術的な面から産業界へのサポートを行っていく考えである。また、安全工学シンポジウムなどを通じて当学会・委員会のアピールと共催学会との情報交換を積極的に行っていく所存である。

参考文献

1. 社団法人関西経済連合会: 次世代環境技術の普及に関する要望, (2008)p.11-12
2. 53保安第199号
3. K.TSUCHIYA: Looking Back on My 40Years at KEK, J. Cryo. Super. Soc. JPN, Vol.50 No.7 (2015) p.374-381
4. 日本機械工業連合会, 高圧ガス保安協会: 平成3年度先端産業関連高圧ガス保安技術の開発報告書-超低温高圧ガス設備に関する保安技術の調査研究報告書-, (1991)
5. 日本冷凍空調学会保安委員会ヘリウム能力算定検討分科会: ヘリウム冷凍機能力算定について, (2002)
6. 野口隆志, 神谷祥二: 超伝導・極低温応用機器の安全とそれを支える技術-医療応用のMRIを例にとりて-, 安全工学シンポジウム2017講演予稿集, (2017)p.46-49

ASCOT 冷却システム検討会における極低温冷却システムの実用化に向けた活動 Activities toward practical application of cryogenic cooling system at ASCOT cooling system review meeting

池内 正充(前川); 淵野 修一郎, 古瀬 充穂(産総研); 青木 五男, 平井 真一(ジェック東理社);
小室 旭, 中村 靖(鈴木商館); 李 瑞, 平塚 善勝(住重)

IKEUCHI Masamitsu (MAYEKAWA); FUCHINO Shuichiro, FURUSE Mitsuho (AIST); AOKI Itsuo, HIRAI Shinichi (JECC TORISHA); KOMURO Asahi, NAKAMURA Yasushi (Suzuki Shokan); Li Rui, HIRATSUKA Yoshikatsu (SHI)

1. はじめに

つくば応用超電導コンステレーションズ(ASCOT)では産総研を中心に25の産学官が参加し、超電導による社会イノベーション創出に挑戦する新たな拠点とするべく、2016年5月に発足した。

冷却システム検討会はASCOTのAO(ASCOT内オープン型研究)会員のうち冷却に関連した企業と産総研を中心として構成され、「極低温冷却システムの実用化に向けた課題解決」という共通課題に対し、メンバー間でオープンな活動を開始している。

本稿では冷却システム検討会の紹介と高圧ガス保安法に関連する調査・検討結果について報告する。

2. 冷却システム検討会の活動

冷却システム検討会は、極低温機器のさらなる実用化・商業化のため、個々企業では解決困難な共通課題を解決しその普及を図ることを目的とし、①性能評価手法の確立、②安全性評価、③標準化・規格化、④情報の集積・アーカイブ化、⑤規制見直しなどを目指している。

①性能評価手法の確立

信頼性や効率などの定義が極低温機器では必ずしも定まっていない。空調分野においては日本工業規格として通年エネルギー消費効率(APF)が定められており[1]、ユーザが統一した基準で性能を比較できる仕組みが確立されている。極低温領域においても同様の客観的な評価基準を議論する必要があると考えている。

②安全性評価

実用化が進展すれば、必ずしも極低温領域の機器の取扱いに習熟していない作業員が操作することもありうる。そこで危険の抽出、対処方法、安全評価方法について検討を行う。

③標準化・規格化

上記検討を元に、実用化に不可欠な事項については標準化・規格化・ガイドライン化して周知を図る。

④情報の集積・アーカイブ化

1961年に低温工学・超電導学会の元となる低温工学懇話会が設立されてから半世紀以上が経過した。すでに多くの先輩方が研究の第1線を離れ始めており、貴重な資料や機器などが散逸する可能性がある。そこで情報の集積・アーカイブ化を行うことで、その知見を生かしていく。

⑤規制見直し

極低温機器の実用化に対し、現行の法規が必ずしも実情に即しているとは限らない。このため安全を担保しつつ規制の見直しを求めていく。

3. 高圧ガス保安法見直しに関する調査

昨年、政・省令改正があり、一般高圧ガス保安規則(一般則)及び冷凍保安規則(冷凍則)では微燃性を有する冷媒であるフルオロカーボン31(R32)、フルオロオレフィン1234yf(R1234yf)及び同1234ze(R1234ze)が特定不活性ガスとして掲名された。その背景や変更に至る過程を調査することは、今後の極低温機器の法律上の規制見直しにも大いに参考になると考え、調査を行った。

3.1 高圧ガス小委員会

経済産業省(METI)高圧ガス保安室では法令・規則改正前

に同省産業構造審議会保安委員会高圧ガス小委員会に資料を提出し同意を得たのち改正を行っている。

例えば、新しく導入された「ファストトラック制度」についても同小委員会に提案され審議の後METI通達の一部改正がされ運用が開始されている。同小委員会に提出された資料、議事録は全てMETIホームページから入手可能である。[2]

3.2 冷凍則の改定

特定不活性ガスを掲名し不活性ガスに位置づけるとともに許可・届出の区分が第1グループに変更された。さらに、技術上の基準には、漏洩したガスが滞留しない構造とすることともに漏洩を検地しかつ警報をする設備の設置が定められた(一般則も同様)。なお、省令は大まかな機能性基準を示しているに過ぎず、第1種、第2種製造者に関しては例示基準でさらに詳細な基準が定められている。

3.3 ファストトラック制度[3]

今回の改訂でその他製造の範囲が5~20冷凍トンと拡大されたため、新たな基準を設けることとした。このため新技術を迅速に導入できる制度として導入されたファストトラック制度を活用して日本冷凍空調工業会(日冷工)がガイドラインを作成することになっている。(Fig.1)

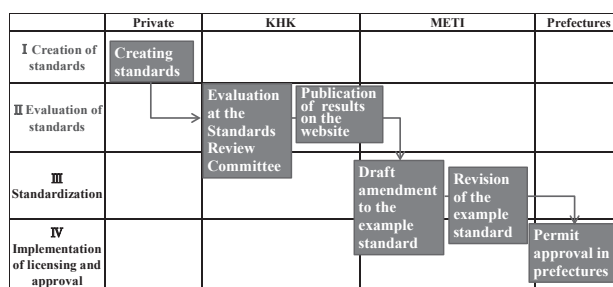


Fig.1 Scheme of Fast-track System[3]

4. 今後の取組み

3章に示したようにガスの掲名を行うためには関連する政令、省令、例示基準の見直しが必要であり、その裏付けのために日冷工や日本冷凍空調学会が実験などによりバックアップを行っていることがわかった。

今後我々が極低温領域での規制見直しを求めていく場合には、

- ・規制見直しが産業の発展にすぐに必要だという強い要望や社会情勢
 - ・産業界における安全担保のための技術基準・ガイドラインの作成が可能となる情報や技術の収集・共有
- などが必要と考えている。

冷却システム検討会が将来の極低温産業の受け皿の一つとなるよう今後も活動を行っていく所存である。

参考文献

1. 日本工業規格 JIS C 9612 及び JIS B 8616
2. http://www.meti.go.jp/committee/gizi_1/27.html
3. 高圧ガス保安室. 高圧ガス保安法のスマート化について. 産業構造審議会保安分科会高圧ガス小委員会(第10回)資料5(2017)より引用

低温工学現代史の年表編纂

Chronology compilation of the Cryogenics modern history

野口 隆志, 湯山 道也 (NIMS); 淵野 修一郎 (産総研); 土屋 清澄 (KEK); 淡路 智 (東北大)
 NOGUCHI Takashi, YUYAMA Michinari (NIMS); FUCHINO Shuichiro (AIST); TSUCHIYA Kiyosumi (KEK); AWAJI Satoshi
 (Tohoku Univ.)
 E-mail: NOGUCHI.Takashi@nims.go.jp

1. はじめに

『低温工学』という学際分野が日本国内に定着して50有余年が経過している。これは1966年4月に社団法人低温工学協会を設立し、1967年、第1回国際低温工学会議(ICEC)を東京、京都で開催したあたりを起源とすると考えられる。この前後の活動は学会ホームページの「沿革」[1]に記されている。このときのお歴々に直接学んだ方々すなわち創世記に多少なりとも関わった方々が、定年退職を向かえ、現代技術史に記録すべき有用な事実や根拠が消え去ろうとしている。それらを散逸させること無く、学術的史実として社会が共有することは、今後の低温工学・超電導技術発展に寄与すると考えられる。あえて現代に拘ったのは、既に記録された文献や事例はこれから先も発掘できる可能性があるが、まだまとまった記録になっていない事例の収集を急ぎたかったからである。研究論文として収録された個々の事例は残るが、それら同一分野の論文の、互いの関連性は当事者間でしか知り得ず、記録されずに消えてゆく可能性がある。

以上のような背景から、本学会の調査研究会公募(2016年度)に応募し、「低温工学現代技術史編纂調査研究会」として採択された。ここでは調査目的とデータ収集の方法およびいくつかの成果について紹介する。

2. 目標と課題

本調査研究会関係者との懇談の中で、低温工学現代技術史編纂についていろいろ議論した。しかし個別の調査課題は多岐にわたり、さらに編纂の方法については様々な意見が出され、なかなか集約しなかった。

- ・出典を明らかにした技術史とする
- ・原著論文を探し出す
- ・エピソードの類も出典を明らかにする
- ・伝聞情報は直接聴取した人物を探す

確認し得たのは上記などである。具体的な活動においては調査対象を絞り、古い事例より比較的最近の事例について調査することとした。最近の事例にすべきとの意見の背景には、現役で活動していた方々の一次伝聞情報を記録にとどめる必要性を考えたからである。既に発行された文献を精査するにしても、今しかできない調査とするためには重要な指摘である。例えばLTS線材の開発の歴史は、HTS線材開発の現状評価に有効と思われた。開発の主流となった論文のつながりは教科書や専門書の参考文献に挙げられるが、同時期に競い合った対抗する論文間の論争が紹介されることは希である。

3. エピソードの取り扱い

研究論文の発掘は、その原本の複写と公表された媒体、その結論の原著性の確認と続く研究との関連を記録する必要がある。しかしその主題を研究するに至ったエピソードなどは、伝聞情報しか存在しないことが多い。発行された記事であっても伝聞情報である限り、事実とは異なる可能性がある。一次伝聞情報にはそれなりの価値があるが、二次伝聞以降の噂話や通説については、複数の根拠を記録する必要がある。それでも、事実は一意に決まるが真実は事実群の解釈によっていくつも存在することがある。技術史編纂のための調査研究ではできるだけ多くの事実を記録する必要がある。

4. 低温工学誌: Editor's Choice

学会出版委員会は2015年Vol.50で「低温工学50巻記念企画」のひとつとしてEditor's Choice欄を企画した。出版委員が低温工学誌掲載記事を選び、選定理由やエピソードなどを織り込んで読者に紹介する企画である。そこでは低温工学誌に限定したが、低温工学関連出版物に枠を広げれば、その手法や論点は本調査研究会のデータ発掘作業に通じるものがある。実は本調査研究会提案のきっかけとなった。

5. 低温工学誌: 随想

低温工学紙面には随想と云う欄がある。投稿規程には同欄について「低温工学に関連した学界、業界に長年携わった経験を有する個人の、ある特定分野の考え方や研究の経験談を随想として掲載する」とある。これは様々なエピソードや研究の動機や時代背景を知る宝庫といえる。エピソードについては本人からの直接情報、少なくとも一次伝聞情報が溢れている。記述された記事の中から、さらに調査する価値のある課題が発掘できる。これもまた本調査研究会発足の動機となった。

6. 収集データおよび課題例

大きく広範囲にわたる課題から、噂話や二次・三次伝聞情報の根拠を調査する課題など様々である。ほとんどが調査中あるいは未着手な課題だが、ここでは課題表題のみ一部を紹介する。順不同

- 1) ラザフォードケーブル発案の原著論文
- 2) Nb単結晶の可逆磁化曲線計測の原著論文
- 3) NbTiの超伝導性確認の原著論文
- 4) オンネスのHe採取方法
- 5) 液体ヘリウム用液面計の原著論文
- 6) 極低温用温度計の各原著論文あるいは最初の記事
- 7) 創世記のMLIとしてのNRC2の原著論文
- 8) 低温工学関連書物の所在確認
- 9) 専門書小史の編纂

この内、5番と2番は具体的な調査結果がある程度出ているので、口頭報告し、記事として投稿予定である。

7. まとめ

低温工学現代史の年表編纂と題した調査研究ではあるが、技術発展の単なる時系列年表の作成が目的ではなく、そこから読み取れる現在と将来への課題の発掘にある。年表は課題の発掘過程で必要となる道具として作られ、得られた具体的な課題の有用性を示す根拠ともなる。それ故、年表の信頼性は高くなければならない。本調査研究会はベータベースシステムの構築を課題とはしていない。むしろそこに乗せる個別データ収集を主目的とした。

参考文献

1. CSSJ History URL
http://www.csj.or.jp/caj/2013/CSSJ_web.pdf
 出典は TEION KOGAKU (J. Cryo. Super. Soc. Jpn.)
 Vol. 46 No. 12 (2011) S 68

低温工学夏合宿 2017～ロータリーバルブ形式パルス管冷凍機の改良～

Summer Seminar for Cryogenic Technology 2017 –Team Rotary Valve–

出村健太(住重); 金井翔太(JASTEC); 菅野雄平(第一高周波工業);

浅見大亮(古河電気工業); 中島翔太郎(日立製作所); 西尾樹(住重)

DEMURA Kenta(SHI); KANAI Shota(JASTEC); KANNO Yuuhei(DHF);

ASAMI Daisuke(Furukawa); NAKAJIMA Shotaro(Hitachi, Ltd.); NISHIO Tatsuki(SHI)

E-mail: kenta.demura@shi-g.com

1. はじめに

低温技術夏合宿は若手研究者、技術者の低温技術向上を目的としており、小型パルス管冷凍機製作・改良の企画は今回で6回目となった。今年度は9月4日から5日間の日程で物質・材料研究機構(NIMS)にて開催され、本講演では受講者が学んだ内容、製作したパルス管冷凍機の実験と結果について報告する。

2. 合宿内容

本合宿は座学と小型冷凍機の製作実習により構成された。座学はパルスチューブ冷凍機の原理と実習で製作する冷凍機についての講義、及び冷凍機の応用と計測・安全性などの低温技術の講義が1日半行われた。パルス管冷凍機の製作・改良実習は2班に分かれて3日半行われた。図1のような冷凍機に対して、両班共通して温度計とヒーター、SUSメッシュ蓄冷材の取り付けを行い、最適条件での冷凍能力の評価を行った。A班はロータリーバルブユニットを使用し、蓄冷材の違いによる冷凍能力の比較も行い、B班は電磁弁ユニットを使用し、複数の運転法による冷凍能力の比較を行った。

3. 冷却試験および試験結果

本講演では、A班の試験結果を中心に発表する。蓄冷器にSUS300メッシュを1600枚重ね入れた条件(1)と、高温側をCu100メッシュ200枚に入れ替えた条件(2)の冷凍能力の比較も行った。図2は各温度における冷凍能力で、無負荷で条件(1)では54 K、条件(2)では80 Kであり、条件(1)の方が高い冷凍能力であることが分かった。また、いずれの条件の冷凍能力の温度依存性も同じ傾向であることがわかった。Bチームでは、ダブルインレットシステムの最適開度において、59 Kの最低温度を記録し、講演ではこの結果も併記する。

4. おわりに

小型パルス管冷凍機の冷却原理、構造を学ぶことができた。また、温度計測の基礎技術(温度計ヒーターの取り付け、熱電対起電力)の重要性を再認識した。なにより講師の方々や受講者同士のつながりができたことは、受講者にとって貴重であった。今後もこのような実習が継続されることを希望する。

5. 謝辞

上田祐樹先生(東京農工大学)、上岡泰晴先生(ワールドテック)、許名堯先生(住重)、佐藤明男先生(元NIMS)、西島元先生(NIMS)、野口隆志先生(NIMS)、平

井寛一先生(大陽日酸)、藤岡耕治先生(クライオウェア)、淵野修一郎先生(産総研)、古瀬充穂先生(産総研)、松原洋一先生(元日本大学)には、座学やパルス管製作実習を通じて貴重な知識と技術を教えていただきました。また、実習場所や資材の提供もいただきました。この場をお借りして講師並びに関係者の皆さまに深く感謝申し上げます。

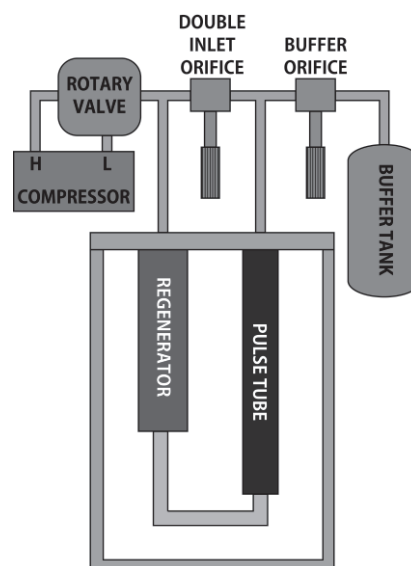


Fig.1 Schematic view of the pulse tube refrigerator (Team A).

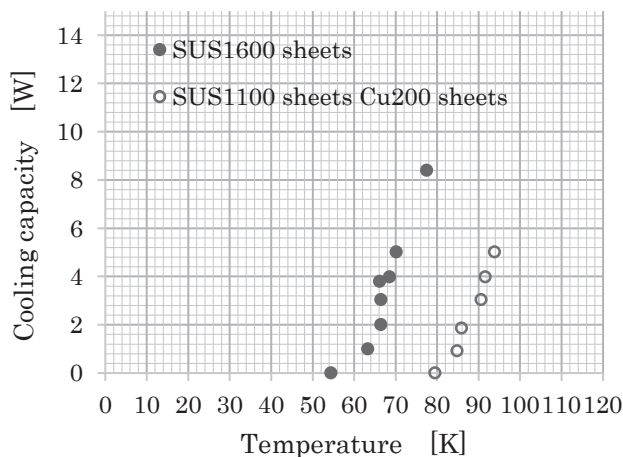


Fig.2 Cooling capacity.

JT-60SA 用超電導機器の製作進捗

Progress of Superconducting Components for JT-60SA

村上 陽之, 土屋 勝彦, 木津 要(量研); 野元 一宏(三菱電機); 高田 英治(富士電機)
 MURAKAMI Haruyuki, TSUCHIYA Katsuhiko, KIZU Kaname (QST);
 NOMOTO Kazuhiro (Mitsubishi Electric); TAKADA Eiji (Fuji Electric)

1. はじめに

欧州と日本が共同で製作を進めているJT-60SAの超電導機器のうち、トロイダル磁場コイルは欧州が製作を担当し、ポロイダル磁場コイル(中心ソレノイドおよび平衡磁場コイル)および給電用機器は日本が製作を担当する[1]。

中心ソレノイドは4つのモジュールのうち3つ目までのモジュールが完成しており[2]、現在は最後の4つ目のモジュールを製作中である。平衡磁場コイルは、6個のコイル全ての製作が完了し、本体へ組み込まれるまで仮置きされている。

極低温で運転される超電導コイルと室温に置かれる電源を結ぶための給電装置(コイルターミナルボックス:CTB)は5個のうち1個が完成し、残る4個の製作が進められている。クライオスタット内に用いる超電導フィーダは設計が完了し、TF用超電導フィーダおよび先行して組立を行う必要がある下部のPF用超電導フィーダの製作が完了した。

本発表では、これらのポロイダル磁場コイルおよび給電用機器の製作の進捗状況や設計について報告する。

2. 中心ソレノイド

中心ソレノイド(CS)は4モジュールのうち、3つのモジュール(CS1, CS2, CS4)が2017年3月までに完成し、4つ目のモジュール(CS3)の製作を進めている。CS3は、これまでに7つあるパンケーキ全ての巻線および熱処理が完了し、ターン絶縁およびパンケーキ間の接続を行うトランスファーと呼ばれる作業を実施中で、4パンケーキ目まで作業が完了した(図1)。

CS3が完成する2018年3月以降に、4つのモジュールを積み重ねて、タイプレートと呼ばれる構造物で挟み込む一体化と呼ばれる工程に入る。一体化されたCSは100tを超える重量物であり、輸送の準備も平行して進めている。

3. コイルターミナルボックス(CTB)および超電導フィーダ

CTBは、高温超電導電流リードを介して、常温の銅スパーと極低温のNbTi超電導電流フィーダを接続する給電機器である。CTBは全5台のうち、最初のCTB01は2017年2月に完成した[2]。2つ目、3つ目のCTB04、CTB05は、真空容器の製作が完了し(図2)、CTB内のフィーダや電流リードの組み込みを開始した。残るCTB02およびCTB03の製作も順次開始し、5台全てのCTBが2018年中に完成する予定である。

CTBと超電導コイル間はNbTi導体を用いた超電導フィーダで接続される。超電導フィーダは自身に生じる電磁力や地震の際の加速度に耐える必要があるため、十分な剛性を持たせる必要がある。一方で、超電導コイルは床に固定されており、固定点から離れた部分は冷却や電磁力による変形で、鉛直方向に最大38mm、半径方向に最大20mm、トロイダル方向に最大16mm変位する。また、CTBは本体室内に設置された常温の架台上に固定されるため、位置がほとんど変化しない。そのため、両者を接続するフィーダで変位差を吸収しなければならず、フィーダには柔な構造が必要となる。

そこで、板ばね構造の軸方向に自由度を持ったサポートで適切にフィーダを支持するとともに、フィーダにクランク構造を加えることで変位を吸収できる構造とした。これまでに先行して組み立てる下部の超電導フィーダの製作が完了し(図3)、現在は上部の超電導フィーダの製作を進めている。

参考文献

1. Y. Koide, et al.: Nuclear Fusion, Vol. 55, (2015) 086001
2. H. Murakami, et al.: Abstracts of CSSJ Conference, Vol. 94 (2017) p.173

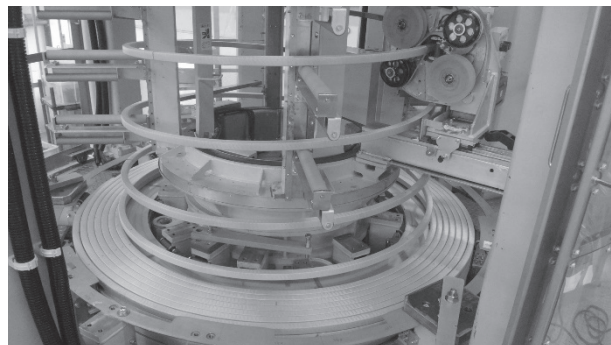


Fig.1 Turn Insulation Process of CS3 Module



Fig.2 Vacuum Chamber Assembly of CTB for PF Coils

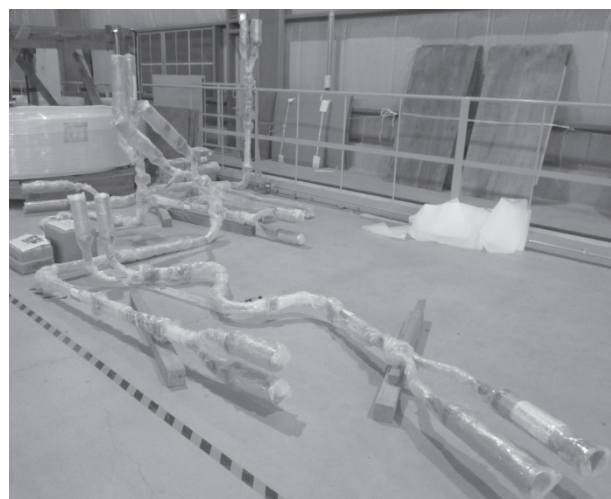


Fig.3 Completed Current Feeders for Lower PF Coils

JT-60SA 冷媒分配システムの設計・製作

Design and manufacturing of cryodistribution for JT-60SA

夏目 恭平, 神谷 宏治, 河野 勝己, 磯野 高明 (量研機構)
 NATSUME Kyohei, KAMIYA Koji, KAWANO Katsumi, ISONO Takaaki (QST)
 E-mail: natsume.kyohei@qst.go.jp

1. はじめに

核融合プラズマ実験装置 JT-60 の超電導化改造計画 (SA 計画) が日本と EU の共同プロジェクトとして、那珂核融合研究所において進められている。JT-60SA 冷媒分配システムは、ヘリウム冷凍機で生成された極低温ヘリウムを超伝導コイル等の被冷却機器へ分配するための配管や弁を含む集合機器である。本講演では、JT-60SA 冷媒分配システムの設計と既に製作された構成機器について報告する。

2. JT-60SA 冷媒分配システムの構成

Table 1 に JT-60SA ヘリウム冷凍機が冷媒を供給する各機器の設計諸元を示す。表中のポロイダル磁場コイルは、平衡磁場コイル (EFC) と中心ソレノイド (CS) を意味する [1]。システム毎に 5 つの異なる状態の極低温ヘリウムが供給される [2][3]。

Table 1 Designed specification for the cryogenic system.

| 冷媒循環系: 被冷却体 | LOOP 1 トロイダル 磁場コイル | LOOP 2 ポロイダル 磁場コイル | LOOP 3 クライオ ポンプ | LOOP 4 サーマル シールド | LOOP 5 高温超伝導 電流リード |
|----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| 温度 (K) | 4.5 | 4.5 | 3.7 | 80 | 50 |
| 圧力 (MPa) | 0.53 | 0.48 | 0.48 | 1.35 | 0.40 |
| 流量 (g/s) | 876 | 960 | 270 | 404 | 30 |
| 圧力損失 (MPa) | 0.13 | 0.08 | 0.05 | 0.15 | 0.29 |
| 平均熱負荷 (W) | 1794 | 1850 | 84 | 42,000 | - |
| 重量 (Ton) | 370 | 206 | - | 96 | - |

JT-60SA 冷媒分配システムの主な構成機器は、トカマククライオスタットとヘリウム冷凍機を繋ぐ真空断熱多重配管であるクライオライン (CryoL) と、各被冷却機器間の流量を調整するバルブボックス (VB) と、クライオスタット内外の冷媒配管、及びコイルターミナルボックス (CTB) である。VB は内部に測温素子、オリフイス板、導圧管を備え、冷媒の温度、流量、圧力を計測し、バルブで各機器への流量を調節する。CTB は、コイル電源用常温ブスバーと超伝導コイルフィードを高温超伝導リードで接続し、高温超伝導電流リードを制御するためのバルブも備えている。

Fig. 1 に一部を透明化した JT-60SA トカマククライオスタット及び冷媒分配システムの構成機器を示す。CryoL からの冷

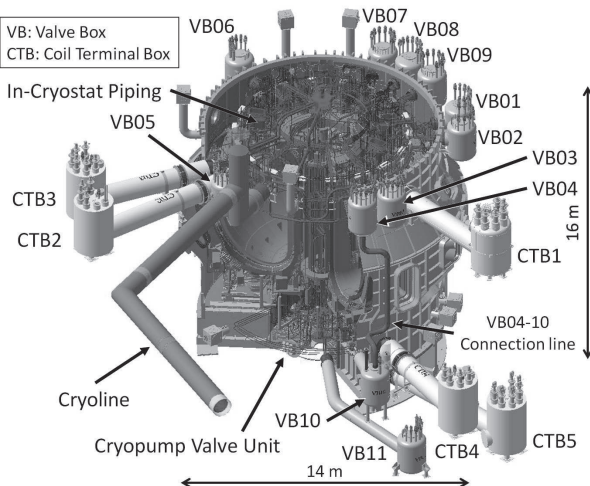


Fig. 1 Tokamak cryostat partially transparent view.

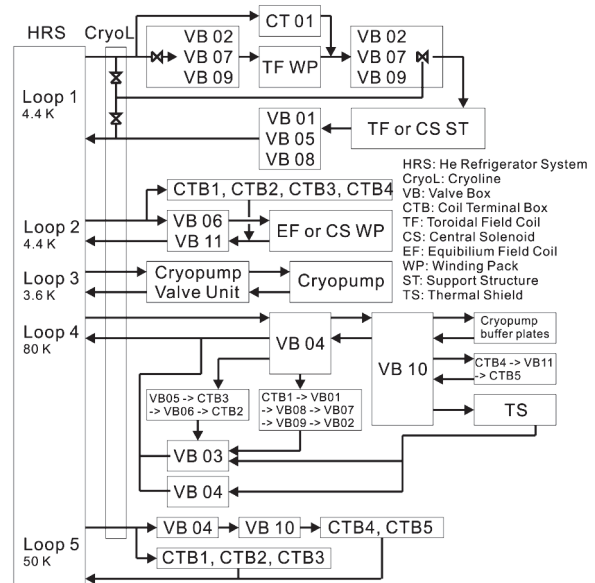


Fig. 2 Flow diagram of the cryodistribution.

媒配管はクライオスタット内で分岐し、VB や CTB に接続する。VB や CTB で流量を調整された冷媒が、超伝導コイルなどの被冷却体に供給される。Fig. 2 に JT-60SA 冷媒分配システムの簡易的な系統図を示す。

3. JT-60SA 冷媒分配システムの製作

2014 年より VB 及び CTB の製作が開始され、2017 年 9 月までに全 11 基の VB 及び全 5 基中 1 基の CTB が那珂核融合研究所に納入された。Fig. 3 は VB 納入時の写真である。VB は外径 1.4 m、高さ 2 m で上部に低温弁が設置されている。2020 年の JT-60SA 完成に向けて、冷媒分配システムの各構成機器は、トカマククライオスタットの組立に合わせて 2018 年から順次設置されていく予定である。



Fig. 3 Photograph of valve boxes delivery to Naka Institute.

参考文献

1. K. Yoshida : TEION KOGAKU (J. Cryo. Soc. Jpn.), Vol. 44, No. 8, (2009) p. 346
2. K. Kamiya et al: TEION KOGAKU (J. Cryo. Soc. Jpn.), Vol. 46, No. 1, (2011) p. 10
3. K. Yoshida et al : TEION KOGAKU (J. Cryo. Soc. Jpn.), Vol. 50, No. 12, (2015) p. 575

核融合原型炉における超伝導コイルの製作誤差に対する誤差磁場評価

Evaluation of Magnetic Error Field in Fusion DEMO reactor

宇藤裕康, 松永剛, 小泉徳潔, 日渡良爾, 坂本宜照, 飛田健次 (量研機構); 西村新 (NIFS)

UTOH Hiroyasu, MATSUNAGA Go, KOIZUMI Norikiyo, HIWATARI Ryoji, SAKAMOTO Yoshiteru, TOBITA Kenji (QST);

NISHIMURA Arata (NIFS)

E-mail: uto.hiroyasu@qst.go.jp

1. はじめに

核融合原型炉の超伝導トロイダル磁場(TF)コイルは、炉心寸法の大型化に伴い、その外形はITERより約1.6倍大きくなっており、ITERの製作公差をそのまま仮定すると、格段に高い製作精度が要求されることになり、コストも増加する。そこで、原型炉における超伝導コイルに対する製作・設置の要求公差を明らかにするため、本研究では、超伝導コイルの製作・設置における公差によって生ずる誤差磁場の解析を実施した。解析の結果、ITERより緩和した製作公差(巻線時)および設置公差においても累積相対度数95%での誤差磁場は0.52 mTとなり、ITERと同等の誤差磁場補正コイル電流値で、炉心プラズマからの要求磁場精度を満たしうることを明らかにした。本発表では解析の詳細について報告する。

2. 炉心プラズマにおける要求磁場精度

超伝導コイルの製作誤差に対する要求値は炉心プラズマ運転における要求磁場精度により規定される。炉心プラズマ運転において、誤差磁場による影響としてはMHD安定性やプラズマ着火などがあり、特にMHD安定性の内、モードロッキングはディスラプションにも繋がる事象で、その回避が必須である。このロックモードが発生する誤差磁場の閾値は実験的に求められており、閾値モデルとして、「3モード・モデル」の場合、原型炉パラメータでは誤差磁場値 B_{TMEI} (three mode error index)は0.3 mTと求められる。

3. 原型炉超伝導コイルにおける誤差磁場解析

現在建設中のJT-60SAやITERでは、各コイルの設計製作(巻線)誤差および設計設置誤差をランダムに与えた多数のコイルモデル、すなわち誤差を有するコイルが生成する磁場分布を予め多数計算し、その中からモンテカルロ法により抽出した場合の誤差磁場値 B_{TMEI} を評価し、それを元に誤差磁場補正コイルの設計を行っている[1]。本研究では、JT-60SAでの評価手法を参照し、超伝導コイルの設計パラメータを基に、各コイルをモデル化し、製作および設置誤差範囲での炉心プラズマでの誤差磁場を評価した。モードロッキングに対する誤差磁場の閾値モデルは、「3モード・モデル」を採用し、誤差磁場値 B_{TMEI} は $m/n=2/1$ のロックモードが発生する誤差磁場のフーリエ成分から計算した。ここで、 m, n はそれぞれポロイダル、トロイダルのモード数を示す。

原型炉の超伝導マグネットシステムは、16個のTFコイル、6つのモジュールからなる中心ソレノイド(CS)と8個のポロイダル磁場(PF)コイルにより構成される。各超伝導コイルに、ITERより緩和した製作公差および設置公差を与え(TFコイルの場合:最大製作公差 ± 5 mm, 設置公差 ± 7 mm)、この範囲で巻線及び設置制度等をモンテカルロ法で与え、誤差磁場を評

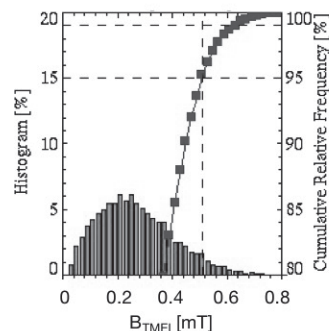


Fig.1 Histogram of predicted error field from TFCs, PFCs and CS with 5000 trials of Monte-Carlo approach for DEMO

価した。図1に誤差磁場解析により得られた $q=2$ 面での誤差磁場ヒストグラムを示す(試行回数:5000回)。グラフの横軸は誤差磁場値、左縦軸がヒストグラム、右縦軸が累積相対度数を示す。解析の結果、累積相対度数95%での誤差磁場 B_{TMEI} は0.52 mTとなることが明らかになった。また、誤差磁場に対するTFコイルとPF・CSコイルの製作、設置公差ごとの寄与を評価した結果を表1に示す。本評価から、TFコイルの設置誤差による影響が最も大きく、TFコイルの製作性に関わる製作誤差の影響は小さいことが明らかになった。

4. 誤差磁場補正コイルの必要電流値評価

超伝導コイルの製作・設置誤差により生じた誤差磁場は、誤差磁場補正コイルにより許容値内に収まるよう補正される。誤差磁場をロックモード回避に必要な誤差磁場0.3mT以下まで低減するのに必要な補正コイル電流値を評価した結果、TFコイル外側の設置の場合で数100kAT/コイルとなる見通しを得た。

5. まとめ

原型炉における超伝導コイルに対する製作・設置の要求公差を明らかにするため、超伝導コイルの製作・設置における公差によって生ずる誤差磁場の解析を実施した。解析の結果、ITERより緩和した製作公差および設置公差においてもITERと同等の誤差磁場補正コイル電流値で、炉心プラズマからの要求磁場精度を満たしうる見通しを得ると共に、誤差磁場にはTFコイルの設置誤差による影響が最も大きいことが明らかになった。これらの解析結果から、ITERより約1.6倍大きい原型炉のTFコイルにおいても、製作精度を緩和することで要求精度を満たしつつ設計可能な見通しが得られた。

[1] G. Matunaga et al.: Fusion Eng. Des., **98-99** (2015) 1113-1117

Table 1 Summary of error field analysis for DEMO

| Error field | All error [mT] | TF coil | | PF/CS coil | |
|-------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | | Only manufacturing error [mT] | Only assembly error [mT] | Only manufacturing error [mT] | Only assembly error [mT] |
| B_{TMEI} | 0.52 | 0.2 | 0.46 | 0.06 | 0.16 |

核融合原型炉超電導コイル用の極低温構造材料に関する検討状況 Current Status of Investigation on Cryogenic Structural Materials for Superconducting Magnet of Fusion DEMO

小野 嘉則, 由利 哲美, 緒形 俊夫 (物材機構); 梅澤 修, 古賀 紀光 (横浜国大); 熊谷 進 (仙台高専);
西村 新 (核融合研); 坂本 宜照, 宇藤 裕康, 小泉 徳潔, 辺見 努 (量研機構)

ONO Yoshinori, YURI Tetsumi, OGATA Toshio (NIMS); UMEZAWA Osamu, KOGA Norimitsu (YNU); KUMAGAI Susumu (NIT, Sendai);
NISHIMURA Arata (NIFS); SAKAMOTO Yoshiteru, UTOH Hiroyasu, KOIZUMI Norikiyo, HENMI Tsutomu (QST)

E-mail: ONO. Yoshinori@nims.go.jp

1. はじめに

原型炉の基本概念設計において、超伝導コイルシステムの概念構築は緊急の課題であり、平成 27 年 11 月より原型炉用超伝導コイルの基本概念の構築ならびに今後の開発方針の策定に向け検討課題が議論されている[1]。原型炉用超伝導コイル設計では、発生磁場が ITER より大きくなり、電磁力が増大するため、構造材料の設計降伏応力(設計 0.2%耐力)として、4 K で 1200 MPa が想定されている。実用材としては靱性、溶接性、加工性なども重要な特性になる。更に実機では厚肉材になることを考慮すると、これらの特性を全て満たせるような金属材料は現状見当たらない。しかし、この状況を克服しなければ、原型炉の設計には制限がかかるわけであり、言い換えれば、高強度極低温用構造材料の有無が原型炉の性能を左右することになる。本講演では、原型炉用超伝導コイル用の極低温用構造材料に関する検討状況について報告する。

2. 極低温高強度構造材料の開発の現状

1977 年に当時の日本原子力研究所が参加した Large Coil Task (LCT) 計画後、実験炉の TF コイル用構造材料の開発が 1980 年代に日本原子力研究所を中心に進められた。極低温で高強度、高靱性を示す構造材料の開発であり、具体的には 4 K での 0.2%耐力が 1200 MPa 以上、破壊靱性値が 200 MPa \sqrt{m} 以上を開発目標領域とした。この目標領域は Fig. 1 に示すように JAERI-BOX と呼ばれた。Fig. 1 には、材料開発の結果、選定された 5 鋼種 (JN1, JKA1, JN2, JK2, JJ1) の 4 K での 0.2%耐力と破壊靱性値の関係も示す。これら 5 鋼種は、Fe-Mn-Cr と Fe-Ni-Cr 鋼をベースとしたオーステナイト(γ)系ステンレス鋼であり、窒素の固溶強化を利用して強度を高めている[2]。一般的に、金属材料は強度を上げると靱性が低くなる。即ち、0.2%耐力と破壊靱性値はトレードオフの関係にあり、Fig. 1 の 300 番台の γ 系ステンレス鋼の Trend line も右下がりとなっている。JAERI-BOX に入る極低温構造材料の研究・開発は、Trend line の右上を狙うような、すなわち高強度化と高靱性化の両方を達成しようとするチャレンジングなものであった。JAERI-BOX に係る活動により、この分野における我が国の優位性が確保されたことは間違いないが、ITER プロジェクトの後は、極低温構造材料、特に厚板を想定したような研究・開発は特段行われていない。

3. 最近開発された耐水素用材料の極低温引張特性

本活動では、Fe-Ni-Cr 系の窒素含有 γ 系ステンレス鋼である HRX19 の厚さ 30 mm、幅 150 mm、長さ 600 mm の板材を入手し、組織観察、引張試験(T 方向, 3 本)を行った。HRX19 は、ASME 規格 XM-19 (22%Cr-13%Ni-5%Mn-2%Mo-Nb, V) の成分範囲内にて高強度化と耐水素特性改善を目的に化学成分と製法を最適化した材料である[3]。評価材の平均結晶粒径は 20 μm である。過去報告されている JN1 の結果 (80 μm) [4]と比較して、30mm 厚板としては結晶粒径が小さい。

Table 1 に HRX19 と 5 種の開発材[5]の 4 K での引張特性を示す。HRX19 の 0.2%耐力は 1570 MPa であり、設計降伏応力 1200 MPa に対し、十分に高い値を示す。開発材の板厚が不明なため単純比較はできないが、HRX19 は伸び、絞りが低い

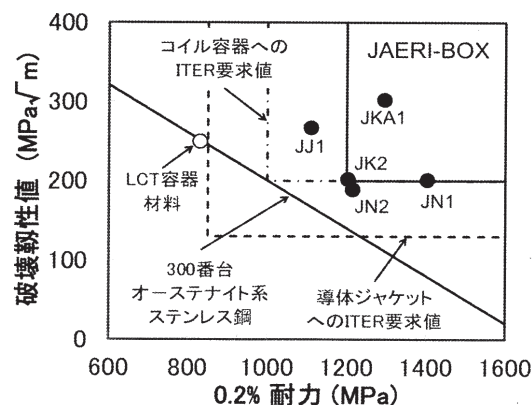


Fig. 1 Relationship between fracture toughness and 0.2% proof stress of 300 series austenitic stainless steels and developed steels at 4 K. This figure includes development target 'JAERI-BOX' based on ITER requirements for coil case and conductor jacket materials [2].

Table 1 Tensile properties of HRX19 and developed steels at 4 K.

| Material | 0.2% proof stress | Tensile strength | Elongation | Reduction of area |
|----------------|----------------------|------------------|--------------|-------------------|
| | $\sigma_{0.2}$ / MPa | σ_B / MPa | δ (%) | ϕ (%) |
| HRX19 30 mm | 1570 | 1919 | 30.2 | 38.3 |
| JN1 [5] | 1403 | 1782 | 40 | 52 |
| JKA1 [5] | 1295 | 1534 | 34 | 49 |
| JN2 [5] | 1215 | 1603 | 36 | 46 |
| JK2 [5] | 1203 | 1623 | 39 | 52 |
| JJ1 [5] | 1110 | 1574 | 43 | 51 |

ものの、0.2%耐力と引張強度は十分高い値が得られている。これは窒素の固溶強化と細粒化によるものと考えられる。

4. 今後の活動

核融合炉実機では、数百 mm を越える厚さの部材が要求されるため、材料は熱間鍛造で製造され、機械加工によって所定の寸法の部材が供給される。従って、圧延材に比べて加工量は少ない。この製造方法の違いによる機械的性質の相違を把握しておく必要がある。そのため、今後は引張特性を評価した HRX19 の 30 mm 厚板の破壊靱性ととも、100 mm 厚板の極低温での引張特性と破壊靱性を調査する予定である。

参考文献

- [1] H. Utoh, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 93 (2016) p.91.
- [2] S. Shimamoto et al.: J. Cryo. Super. Soc. Jpn, Vol. 48, No.2 (2013) pp. 60-67.
- [3] https://www.nssmc.com/product/catalog_download/pdf/P106.pdf
- [4] K. Suemune, et al., Advances in Cryogenic Engineering Materials, vol. 34 (1988), pp.123-129.
- [5] H. Nakajima et al.: ISIJ International, vol. 30 (1990), No.8, pp.567-578.

謝辞

本活動で用いた HRX19[®]は、新日鐵住金株式会社よりご提供頂きました。ここに深謝の意を表します。

熱伝導冷却型 VTI の臨界電流測定に及ぼす励磁速度の影響

Effect of current ramp rate on critical current of variable temperature insert with thermal conduction cooling

西村 新(NIFS); 中本 建志, 吉田 誠, 飯尾 雅実, 鈴木 研人(高エネ研); 外山 健, 山崎 正徳(東北大);
 NISHIMURA Arata (NIFS); NAKAMOTO Tateshi, YOSHIDA Makoto, IIO Masami, SUZUKI Kento (KEK);
 TOYAMA Takeshi, YAMAZAKI Masanori (Tohoku Univ.)

E-mail: nishi-a@nifs.ac.jp

1. はじめに

東北大学 金属材料研究所 大洗センターには 15.5T 無冷媒超伝導マグネットおよび温度可変インサート(VTI)が導入されており、これらの設備を用いて中性子照射により放射化した超伝導線材の超伝導特性の評価を行うことができる。

平成 28 年度までの研究では、高磁場で通電した際に、試料に働く電磁力によって VTI に曲げ応力が作用し、その結果、通電試験後試料温度が通電前の温度に戻らなくなることが明らかとなり、力学的な補強を施し、部材界面の熱接触を維持することにより、熱移動の変化が生じないように改造を行った。その後、未照射の Nb₃Sn 線材を用いて、通電試験を行った。その際、通電速度を変化させて、通電速度が臨界電流に及ぼす影響について検討した。その結果を報告する。

2. 通電試験とその結果

試験に供試した試料は ITER TF コイル用の JASTEC 製 Nb₃Sn 線材である。未照射の線材を試料ホルダーに半田付けし、冷却した。臨界電流判定基準は 10 μV/cm とした。

Fig. 1 に 15.5 T で、通電速度を 20 A/s とした時の試料電流と両電極温度を示す。電流値は 10 Hz (菱形印) と 2 Hz (四角印) で計測しており、両方の結果を示している。+電極は 3.8 K 程度、-電極は 5.2 K 程度を示しており、-電極側に何らかの熱接触があるか、高純度アルミニウムロッドと-極バスバーの熱接触が+極側に比べて良くないことが考えられる。通電中の温度変化に注目すると、通電後半には両電極とも温度上昇が認められ、試料ホルダーの温度そのものが上昇していることがわかる。

Fig. 2 に 100 A/s で通電した時の結果を示す。試料電流を遮断した際の両電極の温度は明確には上昇しておらず、試料自体の温度は上昇しているかもしれないが、電極に取り付けた温度センサーが温度上昇を示すほどの熱はまだ伝わっていないことがわかる。それぞれの臨界電流は、電流増加速度が 20 A/s の場合、71.6 A、100 A/s の場合は 103 A である。(Ramp rate が 100 A/s、Sampling rate が 10 Hz なので、臨界電流は 100 A 以上、110 A 未満となる。) 試料ホルダーの温度が低く保たれている場合、臨界電流は高くなる。

臨界電流と通電速度の関係を Fig. 3 に示す。15.5T では、40 A/s 以上では、臨界電流はほぼ 100 A を少し越えた値となる。磁場が低くなり、試料電流が大きくなると、高速通電ほど臨界電流は大きくなり、100 A/s でもまだ増加傾向を示している。全体のジュール発熱は(通電電流)²×抵抗値であるが、臨界電流に及ぼす通電速度の影響を明確にするには、純銅製の試料ホルダー部での発熱、半田付け部での発熱、試料内部での電流乗り移りに伴う発熱、を検討する必要がある。

3. まとめ

VTI の高磁場下通電での熱伝導、熱伝達の改善作業を行い、通電後に試料温度が元の温度に戻ることを確認し、電極間の温度不均一が明確になった。また、臨界電流の通電速度依存性が明確になった。今後、試料ホルダーや半田付け部の発熱効果を検討を進め、また、具体的な発熱低減対策を電極温度の均温化対策とともに検討する予定である。

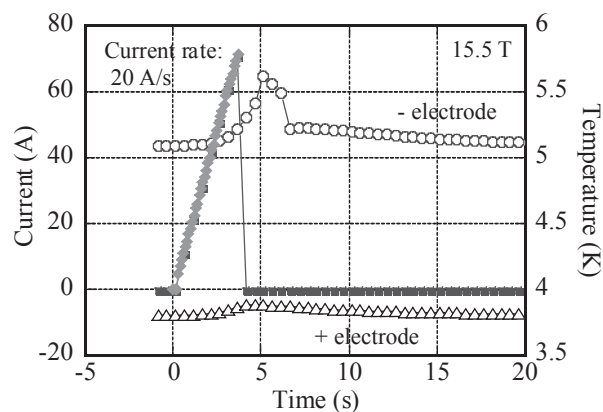


Fig. 1 Test results of non-irradiated Nb₃Sn wire under 15.5 T at ramp rate of 20 A/s.

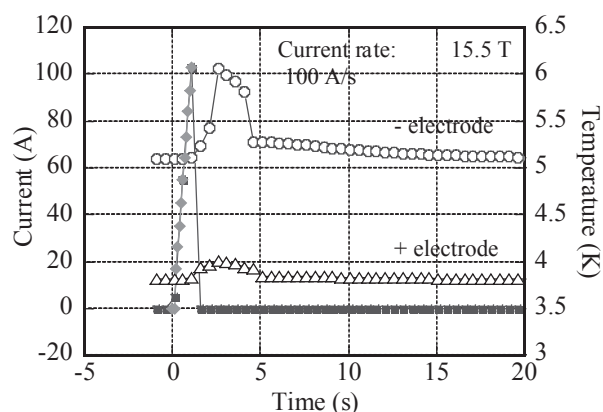


Fig. 2 Test results of non-irradiated Nb₃Sn wire under 15.5 T at ramp rate of 100 A/s.

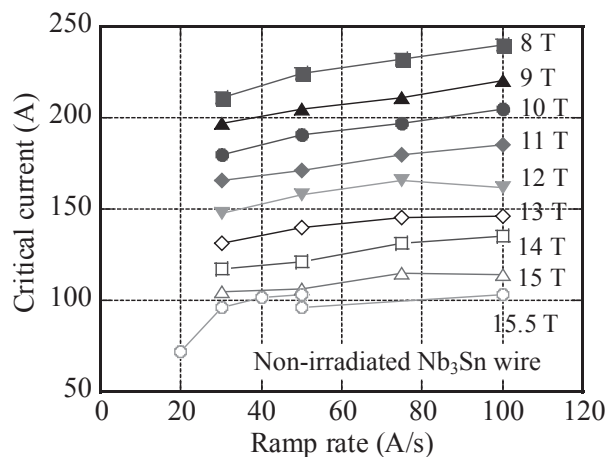


Fig. 3 Effect of ramp rate on the critical current at around 5 K under high magnetic field.