

超電導関連技術の医療応用

超電導関連技術の医療応用調査専門委員会編

(発行日 2022年10月12日)

目次

1. はじめに	3	5. 今後の超電導関連技術の医療応用	43
2. MRI システムと超電導関連技術の動向	4	5.1 MgB ₂ 線材を用いた MRI 用磁石の開発	43
2.1 MRI 医療からの要請と超電導技術への期待	4	5.2 SQUID による神経磁場計測と応用	45
2.2 静磁場不均一性の MRI 画質への影響	7	5.3 臨床用 MRI の変遷と発展	
2.3 MRI 超電導マグネットの技術概要,		: 磁場強度を中心として	48
高温超電導マグネット開発動向	10	5.4 これからの超電導関連技術の医療応用	49
2.4 治療用 MRI の最新動向ならびに		6. おわりに	51
省ヘリウム化に向けた課題	15		
2.5 2 T 伝導冷却型高温超電導			
MRI マグネットにおける磁場安定化	17		
3. NMR システムと超電導関連技術の動向	19		
3.1 NMR マグネット開発の歴史と今後の展望	19		
3.2 NMR の市場動向について	21		
3.3 高温超電導コイルを使った			
超高磁場 NMR マグネットの開発動向	25		
3.4 NMR/MRI のための高温超電導バルク磁石と			
その医療応用への展望	28		
3.5 超電導バルクを用いた小型 NMR 用の			
内挿超電導円筒の非接触評価法	30		
4. 磁気センシングシステムと超電導関連技術の動向	32		
4.1 SQUID 心磁計の技術概要	32		
4.2 磁気ナノ粒子イメージング(MPI)の			
課題と展望	34		
4.3 高温超電導 SQUID を用いた			
磁気免疫検査技術	36		
4.4 磁気センシングシステムの開発動向	39		

超電導関連技術の医療応用調査専門委員会委員

委員長	横山	彰一(J A S T E C)	委員	紀和	利彦(岡 山 大 学)
幹 事	小川	純(新 潟 大 学)		仲村	高志(理 化 学 研 究 所)
幹事補佐	野村	航大(三 菱 電 機)		拝師	智之(国 際 医 療 福 祉 大)
委 員	石原	康利(明 治 大 学)		前田	秀明(科 学 技 術 振 興 機 構)
	緒方	邦臣(日 立 製 作 所)		宮城	大輔(千 葉 大 学)
	小木曾	直人(日 本 電 子)		柳澤	吉紀(理 化 学 研 究 所)
	奥井	良夫(J A S T E C)	途中退任	殿岡	俊(三 菱 電 機)
	河本	宏美(キヤノンメディカルシステムズ)			

1. はじめに

超電導技術の応用分野は多岐に渡り発展しており、電力・エネルギー、社会インフラ、産業機器などの応用として研究開発が進められている。これらの中でも超電導技術が社会インフラとして最も活用されている分野として、Magnetic Resonance Imaging (MRI)システムを代表とする医療分野がある。医療用画像診断装置の市場規模は2～3兆円と言われており、その中で超電導技術を用いたMRIシステムは5000億円以上の市場規模であり、年率5%近い伸びがあり医療診断の分野で超電導技術は重要な貢献をしている。そのほか直接的ではないものの創薬に関わるタンパク質構造分析や創薬シーズとの相互作用解析などにNuclear Magnetic Resonance (NMR)システムが利用されており、その感度向上のために高磁場超電導マグネットの市場拡大も進んでいる。また、Superconducting quantum interference device (SQUID)を用いた脳・心磁計により疾患部位の特定や状況の把握が行われており、期待されるシステムである。

最近の高磁場MRIのトピックスとして、フランスのCEA Saclayで開発中の11.7 T全身型MRIが励磁試験およびシミングが行われイメージングに成功したことを2021年秋に開催された the 27th International Conference on Magnet Technology (MT27)で報告があり注目された。この超電導マグネットは、常温ボア径900 mm、中心磁場11.7 T、蓄積エネルギー338 MJ、重量132 tonと巨大なマグネットであり(1)、本プロジェクトは、Denis Le Bihan氏が2001年に500MHzのMRIを提案して以来20年の歳月を経て完成したものである。また、近年では高温超電導を用いた装置開発による液体ヘリウムフリーマグネット(2)や30 Tを越える超高磁場マグネットなどの研究開発(3)も始まっており、これらの技術が医療分野に応用されることが期待される。

この分野で使用されている超電導技術として、超電導特有の高磁場・高安定磁場発生技術があり例えばMRIの画像診断による患部診断やNMRの高分解能分析による創薬支援など医療への実用が行われている。SQUIDでは疾患部位からのpTレベルの微弱磁場を測定する技術が用いられている。このように、他の技術では実現できない超電導による医療システムが多くある。

超電導関連技術の医療応用調査専門委員会は、医療分野で貢献する超電導技術の国内外の技術動向を調査し、次世代の医療応用機器としての超電導に対する技術課題や市場動向などを明らかにすることを目的として、2019年(令和元年)10月に設置された。途中新型コロナウイルスの影響で2020年(令和2年)4月～9月を活動休止としたが、リモート委員会で活動を再開し、2022年(令和4年)3月をもって解散した。その間以下のような活動を行った。

- (1) 医療画像診断に用いられているMRIシステムにおける超電導関連技術について、医療システムとしての超電導マグネットへの要求項目や高磁場など超電導技術への

期待、超電導マグネットの磁場均一度とMRI画質の影響、磁場安定度の改善手法、最新の治療用MRIの動向や最近の話題である省ヘリウム化などの課題対策についても調査、議論を行った。(第2章)

- (2) 創薬やたんぱく分析などで活躍しているNMRシステムにおける超電導関連技術について、高磁場化するNMRマグネットの開発展望や市場動向について調査を行った。また、小型・軽量化を目的とした高温超電導バルク磁石を用いたNMRシステムや磁場評価方法など最先端研究の動向についても調査を行った。(第3章)
- (3) 疾患部位の特定診断のための磁気センシングシステムにおける超電導関連技術について、SQUID心磁計システムの技術動向や、アルツハイマー型認知症の早期診断が期待できる磁気ナノ粒子イメージング(MPI)システムの開発状況、高温超電導SQUIDを用いた新型コロナウイルスなどの免疫検査の最新状況について調査を行った。また、これらの磁気センシング素子の開発動向についてもまとめた。(第4章)
- (4) 今後の超電導関連技術の医療応用として、委員外の講師を招聘し高磁場MRIの医療診断状況や課題について、液体ヘリウム不要で高速立上げが期待できるMgB2線材を用いたMRIシステム開発について、脊髄における神経診断のSQUIDシステムの最新の開発状況について講演をいただき議論を行った。(第5章)

本書は、上記の超電導関連技術の医療応用調査専門委員会調査結果を技術報告として、各調査テーマを各章にまとめたものであり、それぞれのテーマに超電導技術、システム技術の専門家が解説しており幅広い視野での報告書となっており、大変興味深い内容が盛り込まれている。

参考文献

- (1) Lionel Quettier et al.: "Commissioning Completion of the Iseult Whole Body 11.7 T MRI System", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 30, Issue 4, 4401705 (2020)
- (2) 例えば、横山彰一ほか「高安定磁場コイルシステム基盤技術の研究開発～MRI用REBCO高温超電導モデルマグネット～」低温工学, 52巻, 4号, pp217-223, (2017)
- (3) 例えば, Y. Yanagisawa et al.: "Review of recent developments in ultra-high field (UHF) NMR magnets in the Asia region", Supercond. Sci. Technol., Vol.35, 044006 (16pp) (2022)