

DryCool Technology がもたらす持続可能でコスト効率の高い MRI 運用

シーメンスヘルスケア株式会社 ダイアグノスティックイメージング事業本部 MR 事業部

菅野 康貴

1. はじめに

MRI 技術は、体内の非侵襲的な高精細画像を取得できるため、現代医療において欠かせない診断ツールになっています。しかし、従来の超電導 MRI 装置は冷却に大量の液体ヘリウムを必要とし、その管理や維持には高額なコストと特別な設備が必要でした。このような課題は MRI の導入障壁となり、特に設備や運用資源に限られる地域では、医療アクセスの向上を妨げる一因になっていました。

これらの問題を解決するために、Siemens Healthineers は先進的な冷却技術である「DryCool Technology」を開発しました。この技術により、冷却に必要な液体ヘリウムの量を大幅に削減し、運用コストと設置コストを低減するとともに、設置の柔軟性が向上しています。これにより、超電導 MRI 装置の導入が現実的になり、より多くの人々が質の高い MRI 検査を受けられるようになるなど、医療アクセスの改善に貢献しています。

本稿では、「DryCool Technology」の特長と技術的な詳細、そしてこの技術により持続可能な MRI 運用を実現する「MAGNETOM Flow」について詳しく説明します。

2. DryCool Technology の特長と技術的な詳細

DryCool Technology は、超電導 MRI 装置の冷却構造を根本的に再設計し、従来約 1,500 リットルが必要だった液体ヘリウムをわずか 0.7 リットルまで削減しました。従来の超電導 MRI システムは、大量の液体ヘリウムを活用する冷却機構と排気設備が必須でしたが、DryCool Technology では密閉型の冷却システム内で少量の液体ヘリウムを循環させる仕組みを採用しており、これによりクエンチパイプの必要もなくなっています。結果として、設置スペースとコストが削減され、設置場所の柔軟性が向上しています。このように、DryCool Technology は MRI 装置の導入や運用にかかる負担を軽減し、MRI 普及を促進する技術として期待されています。

2-1. 液体ヘリウム冷却技術の進化

DryCool Technology の最大の特長は、冷却に必要な液体ヘリウム量を大幅に削減した点です。従来の超電導 MRI 装置は冷却に大量の液体ヘリウムが必要で、クエンチが発生した場合には液体ヘリウムの補充が欠かせませんでした。液体ヘリウムは希少資源であり、近年の供給不足による輸入単価高騰も相まって、その補充には高額なコストがかかっていました。しかし、DryCool Technology はわずか 0.7 リットルの液体ヘリウムで冷却を維持できる極低温システムを採用しており、これにより導入後の液体ヘリウム補充が不要となり、運用コストの大幅な削減を実現しました。

この極低温システムは、先進的で高度に最適化された熱的結合システムを用いて超電導マグネット構造に組み込まれた、独立したサブシステムです。1.5 テスラプロトタイプマグネットでは、超電導構造を取り囲むパイプを用いた極低温システムを採用しましたが、液体ヘリウムシステムに多くのジョイントがあり、製造が複雑になってしまいます。そのため DryCool Magnet では、大量生産に適した、よりシンプルでロバストな極低温システムを採用しています（図 1）。

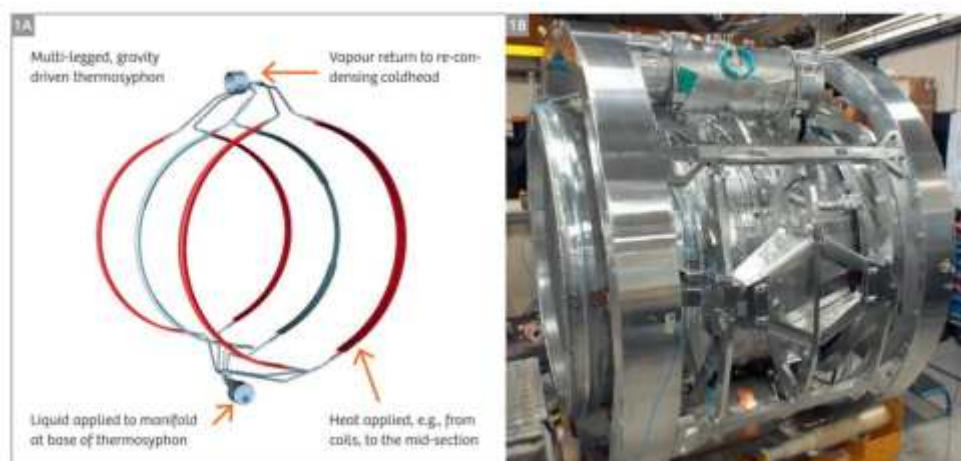


図 1 1.5 テスラプロトタイプ機の冷却コンセプトと超電導マグネット構造。(1B) 製造中の 4K 低温部。

2-2. 高効率な熱管理システム

DryCool Technology は、冷却効率を最大化するために高度な熱管理機構を備えています。極低温システムはコイルと支持構造から効率的に熱を取り除き、短いクールダウン時間、低いベース温度、傾斜磁場コイルの相互作用に対する優れた耐性を実現しています。最も負荷が高い撮像シーケンスを用いた場合でも、マグネットコイルの温度上昇は最小限に抑えられています。

また、超電導コイルや支持構造には高い熱伝導性を持つ素材が使用されており、冷却効果が装置全体に効率的に分散されるよう設計されています。この構造により、外部環境からの温度変動が冷却系に与える影響が最小限に抑えられ、システム内部の温度が安定しています。これにより、長期間にわたり安定した冷却が可能となり、高精度な診断画像の提供を維持できるようになっています。

2-3. 自動回復機能について

DryCool Technology には「自動回復機能」が搭載されており、冷却や磁場の状態をリアルタイムで監視します。異常が発生した場合には自動で安全停止を行い、状況が収束すると冷却と磁場の再立ち上げが自動で行われます。従来の MRI システムでは異常時の対応が手動で行われることが多く、時間がかかることがありましたが、自動回復機能により異常を迅速に検知し、即座に適切な対応が可能となっています。この機能は装置の安全性と信頼性を向上させると同時に、医療現場での負担も軽減します。

3. DryCool Technology がもたらすメリット

3-1. 設置コストの削減と施設要件の緩和

DryCool Technology の導入により、MRI 装置の設置にかかるコストが削減され、設置場所の柔軟性も大幅に向上しています。従来の超電導 MRI 装置にはクエンチパイプが必須であり、クエンチ発生時に冷却ガスを建物外に排出するための特別な設備が必要でした。しかし、DryCool Technology の密閉型冷却構造によってクエンチパイプが不要となり、配管を通すための特別な建築工事が必要なくなっています。また、従来の MRI マグネットでは、超電導コイルが液体ヘリウム槽に浸されており、気化したヘリウムの再液化を可能にするために、コールドヘッドを液体ヘリウムの液面より上に配置する必要がありました。DryCool Magnet では、大型の液体ヘリウム容器はなく、熱緩衝液槽として小型の液体ヘリウム槽がある

のみで、コールドヘッドをマグネット側面に配置することができます（図 2）。このため、高さ 2m のドアを通して支障なく搬入することが可能です。さらに、DryCool Magnet では、コンパクトかつ軽量の設計により設置の要件が緩和され、従来設置が難しかった地上階以外の部屋や限られたスペースの医療施設でも導入が可能になっています。

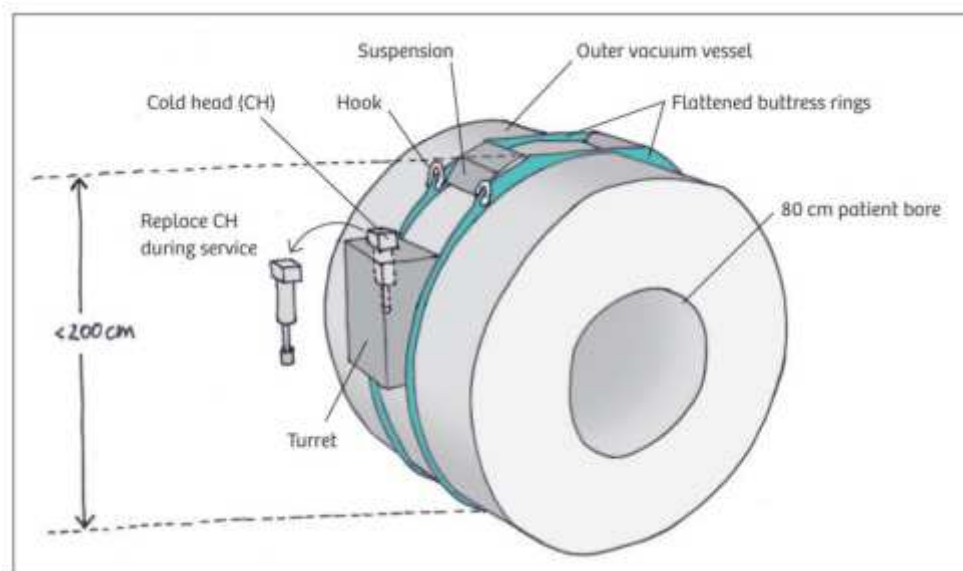


図 2 システム側面にコールドヘッドを配置し、高さ 2m 未満のマグネットサイズを実現

3-2. 液体ヘリウム再補充の不要化と電力コストの削減

DryCool Technology は、持続可能な MRI 運用の実現に大きく貢献しています。冷却に必要な液体ヘリウム量を 0.7 リットルに抑え、密閉型構造にすることで、従来の超電導 MRI 装置で必要だった吸着事故や緊急停止に伴う液体ヘリウムの再補充が不要となり、これに伴うコストが削減されています。また、この少量の液体ヘリウムを効率的に活用する「Eco Power Mode」によって冷凍機は必要な時だけ作動するため、電力消費が抑えられています。特に夜間の非稼働時には電力消費が大幅に削減されています。このように、DryCool Technology は MRI 装置のライフサイクル全体でのコスト効率と持続可能な運用を実現しています。

3-3. 吸着事故および緊急停止への対応と復旧の迅速化

DryCool Technology では、万が一吸着事故が発生した場合でもエンジニアがリモートサポートで消磁操作を行い、磁場を一時的に停止することができます。施設スタッフが安全に吸着物を取り除いた後、再度エンジニアがリモートサポートで励磁を行い、迅速な復旧を支援します（図 3）。エンジニアが対応を主導することで、安全かつ効率的な復旧が実現し、施設スタッフの負担も軽減されます。

また、人命に危険が及ぶ吸着事故が発生した場合には、施設スタッフが手動で緊急停止を行い、被検者の安全を最優先に確保します。緊急停止後も、DryCool Technology の密閉型冷却構造により液体ヘリウムが放出されることはなく、再稼働時に液体ヘリウムの調達が必要となるため、ダウンタイムが大幅に削減されます。これにより、緊急停止後の迅速な復旧が可能となり、施設の診療スケジュールへの影響も最小限に抑えられます。



図3 吸着事故時の復旧フロー（人命に危険がない場合）

4. DryCool Technology と AI 技術を融合した 1.5 テスラ新製品「MAGNETOM Flow」

DryCool Technology を採用した 0.55 テスラの「MAGNETOM Free. Platform」は、すでに多くの医療施設で安定稼働しており、DryCool Technology の信頼性を示す実績となっています。また、1.5 テスラの「MAGNETOM Flow. Platform」への技術展開により、この技術の利点がさらに多くの医療機関に提供され、MRI 普及を促進する重要な一歩となっています。

「MAGNETOM Flow」は、DryCool Technology の採用により、装置の稼働に伴う液体ヘリウムの再補充が不要なヘリウムフリー※¹を実現し、電力消費量を最大 40%削減※²するだけでなく、AI による画像再構成技術により撮像時間を 50%削減※²するなど、病院経営の経済性改善に貢献します。また、センサーや AI を用いたポジショニングおよびスキヤンの自動化により、ワークフローの効率化も実現しています。MAGNETOM Flow は、サステナブルで効率的な病院経営を支える次世代型 1.5 テスラ MRI 装置です（図 4）。



図4 DryCool Technology を採用した 1.5 テスラ MRI 装置「MAGNETOM Flow」

4-1. ヘリウムフリー構造により、優れた設置性で電力消費量を最大 40%削減

本装置は、DryCool Technology を 1.5 テスラの MRI 装置として初めて搭載しました。これまで超電導磁石の冷却に必要とされていた最大 1,500 リットルの液体ヘリウム使用量を 0.7 リットルまで削減し、冷却装置を密閉することで、装置の稼働に伴う液体ヘリウムの再補充が不要なヘリウムフリー仕様となっています。密閉された液体ヘリウム冷却装置を生かし、非稼働時には余分な冷却を自動で停止する『Eco Power Mode』や、一定時間稼働がない場合に自動で省電力モードに移行する『Eco Gradient Mode』等の省エネ機能の組み合わせにより、電力消費量を最大 40%削減^{*2}します。また、クエンチパイプ設置のための工事が不要なことに加え、搬入口の高さが約 2 メートル、最小設置面積が 24 平方メートル、重量が約 3.7 トンの小型・軽量な設計により、設置の自由度が高く、床の耐荷重補強に対する施工コストも削減できます（図 5）。



図 5 DryCool Technology と Eco Power Mode

4-2. 検査前のポジショニングやスキャン操作を自動化し、ワークフローを効率化

被検者に装着するブランケット型コイル『BioMatrix Contour coils』に、新たに開発したポジションセンサー『BioMatrix Position Sensor』を搭載しました。内蔵されたセンサーからコイルの位置情報を自動認識するため、レーザーライトを表示して撮像位置を合わせる操作が不要になります（図 6）。さらに、Body モデルを学習した AI により撮像位置を自動認識する機能を組み合わせることで、全身撮像のポジショニングを 1 回のタッチ操作で完了できるため、検査前の準備時間を短縮することができます。また、AI による自動撮像支援機能『myExam AutoPilot』により、頭部、脊椎、膝のルーチン MRI 検査は 1 回のクリック操作で完了することができるようになり、操作者のスキルレベルに依存せず、効率的で一貫した検査結果を提供します。



図 6 BioMatrix Contour coils と BioMatrix Position Sensor

4-3. AI を用いた画像再構成技術により、2 倍の空間分解能で撮像時間を 50%短縮

AI を用いた MRI 画像の再構成技術『Deep Resolve』を搭載し、撮像時間を 50%短縮^{※2}しながら、空間分解能を倍増させた高精細な画像を提供します（図 7）。優れた撮像画像により診断の質の向上に貢献するだけでなく、撮像時間を大幅に短縮することで、被検者の心理的負荷の軽減に加え、検査の効率化、電力消費の低減など、病院経営の効率化にも貢献します。

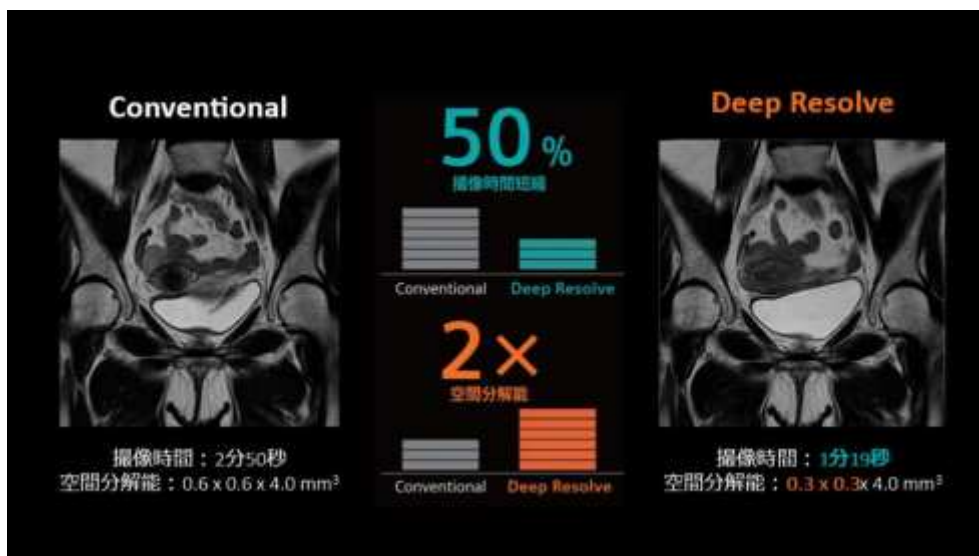


図 7 Deep Resolve により 2 倍の空間分解能で撮像時間を 50%短縮

5. 結論

DryCool Technology は、超電導 MRI 装置における冷却技術の進化をもたらし、持続可能でコスト効率の高い MRI 運用を実現しています。液体ヘリウムの大幅な削減により、液体ヘリウム再補充が不要となり、Eco Power Mode による電力消費の削減によって MRI 装置のライフサイクルコストも低減しています。また、クエンチパイプ不要の構造とコンパクトで軽量の設計により、設置の柔軟性が向上し、MRI 導入が

難しかった地域でも新たな導入機会が広がっています。

Siemens Healthineers は、DryCool Technology を基盤に、持続可能な医療技術の進展に貢献し、医療の質と利便性の向上を目指し続けます。

※1 液体ヘリウム 0.7 リットルを完全に密閉した冷却装置のため、装置の稼働に伴う液体ヘリウムの再補充が不要な構造

※2 当社製 1.5 テスラ MRI 装置比較

引用文献

1 Biber, S. (n.d.). MAGNETOM Free.Max: Access to MRI - How to Make it Big Inside and Small Outside. Siemens Healthineers, R&D AEP, Erlangen, Germany.

2 Calvert, S. (n.d.). MAGNETOM Free.Max: From Concept to Product, a Brief History of the DryCool Magnet Development. Siemens Healthineers, Oxford, UK.

MAGNETOM フロー

認証番号 : 306AABZX00051000