

TODAY



連携から分断へ — COP27 の成果を読み解く —

東京大学公共政策大学院
TECUSE プロジェクトアドバイザー
本部 和彦

2022年11月シナイ半島南端のエジプト シャルム・エル・シェイクで開催された国連気候変動枠組条約締約国会議 COP27 は金曜日の終了予定を1日半延長し、20日日曜日の正午ようやく合意に達し閉幕した。史上2番目に遅い合意だそうだ。

一昨年英国グラスゴーで開催された COP26 は、議長国イギリスの周到な運営と米国バイデン政権の誕生で、“野心の向上が必要”との大合唱となり、努力目標に過ぎなかった“1.5℃目標”が主役に躍り出た会議となった。その結果、会期中までに途上国を含め120か国以上が提出済の2030年国別貢献（2030年削減目標）を改訂した。我が国も、当時の菅政権が、安倍政権時代の2013年比26%削減を同46%削減へと大幅に深掘りした新たな国別貢献を再提出したことは記憶に新しい。

今回の COP27 の主要な議題は、①必要な国は1.5℃目標実現に向けて2030年目標の強化を行うとともに、今後10年間の更なる野心の向上を目指す作業計画を策定すること、②途上国への資金支援策の強化、とりわけ損失（Loss）と損害（Damage）に対する支援策の検討であった。

このうち①については COP26 を超える成果はほぼ皆無で、中国・インドなどの主要排出国が2030年削減目標を修正する動きもなかった。理由はシンプルである。“1.5℃目標達成には世界全体で2030年に2019年比43%削減が必要”だとする IPCC 第6次評価報告書が示すように実現に必要な削減量があまりにも大きく非先進大排

出国にとって実現不可能なレベルだからである。中国・インドを含む有志途上国（LMDC）が、“2050年カーボンニュートラルを目指したいなら、先進国は2030年にカーボンニュートラルを目指すべきだ”と主張するのも分からなくはない。

これに対し、②については、EUが土壇場で譲歩したことをきっかけに“損失と損害に対する新たな基金の設立”に合意する結果となった。先進国にとってレッドゾーンと言われた新基金の設立について譲歩した理由は定かではないが、ロシアによるウクライナ侵略が世界を分断する中、欧州には気候変動交渉まで決裂することは何としても避けたいとの思いがあったのではないだろうか。いずれにせよ途上国のメディアが“歴史的勝利”と謳うもの宜なるかなである。

では、中国・インドなど非先進大排出国が2025年に予定されている次期国別貢献の提出までの間に現在の削減目標を見直すであろうか。筆者はその可能性は極めて低いと見ている。そうなれば1.5℃目標実現はますます困難になる。他方、コロナ対応、ウクライナ対応、エネルギー価格の高騰で傷んでいる先進国の懐事情からして、京都議定書の下で設立された適応基金、カンクン合意に基づいて設立されたグリーン気候基金に次ぐ三つ目の基金に、途上国の望むような規模の資金が集まる可能性も極めて低い。グリーンに向けてひた走る先進国にとっても資金に乏しい小島嶼国、後開発途上国にとっても、LMDCにとっても望まない展開が想定される。

筆者にはロシアによるウクライナ侵略に賛同する国はほぼないにもかかわらず、ロシアへの対応を巡って世界の分断を招いている様に、1.5℃目標について異論を唱える国はないにもかかわらず、その実現に向けた対応が世界の分断を招きつつあるように思えてならない。COP26、COP27が連携ではなく分断の始まりにならないことを祈るばかりである。

磁性と磁気材料に関する国際会議 2022 Joint MMM-Intermag @ ニューオーリンズに参加して、ならびに

MagHEM プロジェクトにおける特許・技術動向調査活動の振り返り

高効率モーター用磁性材料技術研究組合 主席研究員 谷川 茂穂
一般財団法人金属系材料研究開発センター 磁性・先進技術研究部長 豊田 俊介

1. はじめに

高効率モーター用磁性材料技術研究組合(MagHEM)の技術調査活動の一環として2022年1月10~14日に米国ニューオーリンズでハイブリッド開催された磁性に関する国際会議 2022 Joint MMM-Intermag に Web 参加し、磁石材料・軟磁性材料・磁石モーターの技術動向を調査した。Joint MMM-Intermag Conference は、毎年欧州・アジア・北米持ち回りで開催される米国電気電子学会 IEEE 主催の国際磁性会議 InterMag と、毎年米国で開催される磁性と磁性材料に関する国際会議 MMM が3年に一度、米国で共同開催されるもの。磁性に関連する研究のほぼ全分野をカバーしている。

2. 永久磁石材料に関する講演

永久磁石材料のセッションは4セッションで37件のオーラル講演があった。Nd-Fe-B 磁石の講演は少なく RE フリー磁石や ADDE の講演が比較的多い。1/12 系希土類磁石は計算科学やマイクロ構造解析の論文が中心であった。

DOA-07 : Challenges of reaching high coercivity in coarse grained ThMn₁₂ magnets (ダルムシュタット工大、独) 1/12 系磁石の保磁力低下に及ぼす双晶の影響を検討。希土類サイトの異なる (Nd, Ce, Sm) 材料のマイクロ構造解析を系統的に行い、双晶構造の主相は希土類元素の違いによらず観察され、双晶境界は磁的に弱く磁化反転の起点となっていることを確認。

DOC-07 : Effect of Dopants(Mo,Cr,V) on the Magnetic Properties of Mn-Al-C nanostructured by Flash-Milling (IMDEA Nanoscience、西) Mo, Cr, V をドーピングした Mn-Al-C 系磁石合金粉末をガスアトマイズで作製し、フラッシュミリングで合成した後、熱間加工でバルク磁石とした。Mo の保磁力の向上効果が大きい。

3. 軟磁性材料に関する講演

5つのセッションで44件の講演があり、他 MANC 材料とアモルファス・ナノ結晶材料に焦点を当てたシンポジウムが企画された。

COB-08 : Nanocrystalline soft magnetic materials produced by Continuous Ultra-Rapid Annealing (モナシュ大、豪) 高 B ナノ結晶材料薄帯のリール to リールの連続急速結晶化熱処理技術を開発。新プロセスによる薄帯の保磁力は 8.8A/m、コアロス (@1.5T/50Hz) は 0.62~0.50W/kg で、従来の Cu ブロックを利用した急速熱処理を適用した薄帯より優れた性能が得られる。小型モーターのステータで評価し、電磁鋼板より優れた特性であることを確認。長尺薄帯を連続的に処理できるプロセスとして画期的。

COB-02 : Development of Novel Fe Based Nanocrystalline FeBNbPSi Alloy Powder with High Bs of 1.41T (TDK) インダクター用途を念頭とした高 Bs ナノ結晶材料。ガスアトマイズ法による圧粉磁心用 Fe-B-Nb-P-Si 系ナノ結晶粉末の開発。ガス噴霧粉を高圧水で二段急冷し、アモルファス状の前駆体を作製。ポスト熱処理でナノ結晶化させる。B と Si の配合量を調整しアモルファス形成能と磁気性能を最適化。600℃でナノ結晶化させた Fe₇₉B₉Nb₆P₃Si₃ 粉末の飽和磁化は 1.41T で保磁力は 37A/m。

SF-01 : Power Dense Inductors Based Upon Co-Based Nanocrystalline Alloys (ピッツバーグ大、米、招待講演) 理想的な透磁率を持つ材料としてインダクター用途を念頭に Co 系ナノ結晶薄帯を検討。インライン熱処理プロセスはプロセス規模拡大性、生産効率、高精度熱処理制御などに利点がある。透磁率制御と磁壁制御が鍵。Co 系合金の優れた延性、引張応力付与による大きな異方性発現がギャップレスインダクターの生産を可能としている。DOE プログラムにより、NASA GRC と Metglas で導入したパイロットスケール 鋳造装置で製造した薄帯に、インライン熱処理を加え、フルスケールのナノコンポジットコアを試作評価。パウダコアに比べ 1000A までの線形性の向上、透磁率制御、熱処理制御が可能となり、ギャップレスコアのサイズと重量が削減された。MW クラスのフルスケールでも商用パウダーコアインダクターに比べて重量削減されることを確認。今後、新しい電磁場を用いた急速インライン熱処理プロセスのナノ結晶合金への適用を検討してゆく。

SF-02 : Application of FeNi-based Metal Amorphous Nanocomposites(MANCs) in Axial High Speed Motors (カーネギーメロン大、米、招待講演) FeNi 系のアモルファス - ナノ結晶軟磁性材料 (Fe₇₀Ni₃₀)_{80-x}Nb₄Si₂B₁₄TE_x (TE=V,Cr,Mo,Nb) のアキシシャルギャップモーターへの適用を検討しており、14 極、デュアルステータの半径 80mm、軸長 76mm、重量 5.4kg のアキシシャルギャップモーターを試作評価。磁石はフェライト磁石を用いているため出力は 2.5kW 程度でトラクションモーターとしてはパワーが足りない。NdFeB 磁石を適用すれば 37kW などとパワーは上げられる。アモルファス - ナノ結晶軟磁性材料にはグラスフォーマーとして Si、B(、Nb) 等の元素を入れるのでその分 Bs は小さくなるものの、400Hz 程度を超えると電磁鋼板に比べて高くなり、鉄損は大幅に低減される。Finemet 合金はもろいが、FeNi 系のアモルファス - ナノ結晶材は延性に富んでいる。

SF-05 : Recent Advances and Remaining Challenges in Manufacturing of Amorphous and Nanocrystalline Alloys (Metglas 社、米、招待講演) FeBSi系アモルファスとナノ結晶薄帯材料(16~30 μ m)のサイエンス、プロセス技術、開発状況、特長、応用、市場を概説。テンションアニーリングプロセス技術や微細磁区材料技術などが、大型変圧器やモータ用途も含めて、アモルファス材料の電磁鋼板用途への拡大に寄与する。テンションアニールプロセスは、アモルファス薄帯の平坦度・延性を向上させ、ナノ結晶材料の透磁率を制御し高周波特性を向上させる。

4. 磁石モーターに関する講演

8セッションで52件のオーラル講演があった。

SG-01 : Energy Conversion for a Sustainable Future: Role of Advanced Magnetic Materials and Advanced Manufacturing (マーケット大、米、招待講演) 電動自動車、再生可能エネルギー、苛酷環境対応、電力グリッドの制約対応など、磁石モーターによる電動化トレンドを概観。GEの20MW@1万rpm、5MW@2万rpmの磁石モーター/発電機により90%の重量削減がなされ、オイル&ガス分野でのコンプレッサー、洋上発電、航空機用発電機などへの適用が期待される。オイル&ガス、地熱発電分野では高温の苛酷環境で空間制約が大きく、流体を大量にくみ上げる必要がある。GEは1.34MW、56rpm、240kNmと高トルクの風力発電機を試作評価した。自動車、地上・地下の採鉱用特装車、船舶、鉄道、航空機、産業分野においても磁石モーターによる電動化が検討されている。これらの用途では耐故障性が求められる。高パワー密度、高効率、省レアアース、可変速度、センサレス制御などの観点から様々な設計のモーターが検討されている。シーメンスやGEでは複雑形状のガスタービン刃、航空機エンジン部品などの製造プロセス技術として3Dプリンティング技術にも取り組んでいる。

JOA-04 : Validation of Standstill Magnetization Strategy of a Single Pole Pair FeCrCo-based Memory Motor (カルノーIPEN、仏) 温度特性と機械強度に優れたFe-Cr-Co磁石を利用した可変磁束メモリーモーターを考案。モーター性能を評価するためFe-Cr-Co磁石の磁化状態をステータのd軸にパルス電流を流して変化させた。

5. MagHEMプロジェクトにおける特許・技術動向の調査活動の振り返り

高性能磁性材料の開発による高効率モーターの実現を目指して10年にわたり取り組んできたMagHEMプロジェクトは2021年度をもって終了した。ここではプロジェクトの中でJRCMが取り組ん

できた特許・技術動向の調査活動を振り返る。

図1に示すように、第1期(2012~2016年度)は技術調査センターとして、本事業における特許戦略策定の支援を狙いとした、磁石材料、軟磁性材料、高効率モーターの3分野についての、特許・技術動向の調査と技術傾向の分析とプロジェクト参加者間での情報共有化を行った。第2期(2017~2021年度)には、本事業の開発が、従来のネオジム磁石を超える革新的な高性能磁石の開発と次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの低損失化・小型化に必要な技術に特化されることに対応して、第1期に引き続き、特に高性能磁石材料や高効率モーターなどに焦点を絞った特許・技術動向の調査を実施するとともに、バリューチェーンの下流・上流に当たる、磁石市場動向、希土類資源動向についての情報収集も行った。

2017年度には2016年以降に公開された国内、中国、米国の特許の調査を行うとともにIntermag2017、ICEMS2017などに参加して関連分野の発表動向・技術動向を調査しその情報を共有化した。2018年度には2016年以降に公開された国内、中国、米国、欧州の磁石材料の特許、国内の永久磁石モーターの特許調査を行うとともに、Intermag2019、ICM2018、REPM2018、ICEMS2018などに参加して関連分野の動向を調査し、また希土類原料供給動向、磁石市場動向についての情報収集を行った。2019年度には、2016年以降に公開された国内、中国、米国、欧州の磁石材料の特許、国内の永久磁石モーターの特許調査を行うとともに、EVS32、ICEMS2019、SMM24、ICF2019、2019MMM、AdvancedE-MotorTechnology2020、TMS2020などに参加して関連分野の動向を調査し、磁石市場については自動車主機モーター以外の用途についても情報収集を行った。2020年度には特に、2015年以降に公開された中国の高効率モーター特許、2015年以降の磁石論文、2017年以降の軟磁性論文の調査分析を実施した。2020MMM、WMM2020、ICEMS2020、

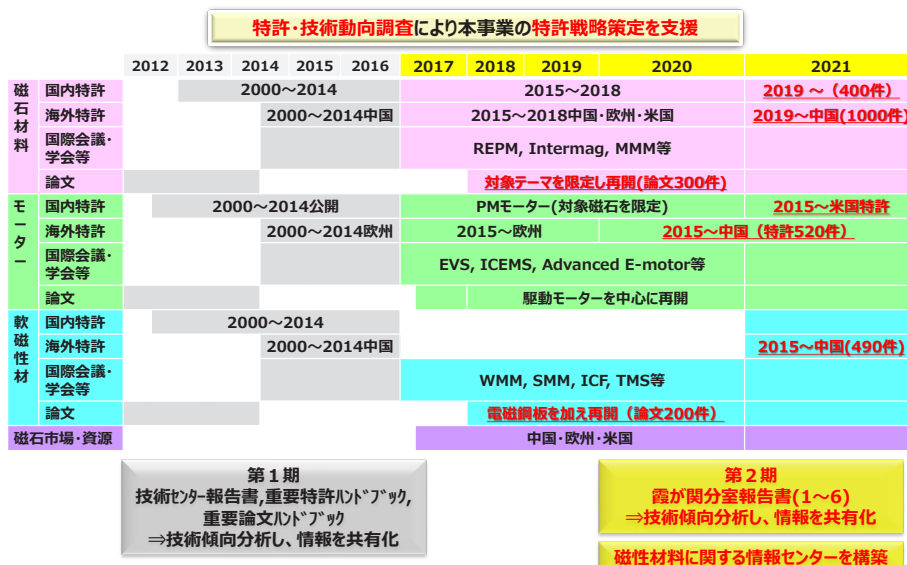


図1. MagHEMプロジェクトにおける特許・技術動向調査の取組み

CREPMIMAS2020 などへ参加し、技術・資源・市場動向を調査した。2021 年度には、霞が関分室報告書を取り纏めるとともに、Intermag2021、REPM2020、ICEMS2021、MMM-Intermag2022 他へ参加するなど、欧州、中国、米国、国内の情報収集を行った。

収集・分析した特許・技術動向情報は、MagHEM 組合員用 web-site を利用した霞が関分室短信、外部有識者を講師に招いての技術動向分析会議、霞が関分室報告書（図 2）などを通してプロジェクト参加者及び関係者と共有化を図るとともに、講演発表、JRCM ニュースなどを媒体とした論文発表を通して公開に努めた。これら調査結果をベースに、「磁性材料に関する情報センター」を JRCM の web サーバ上に開設し 2022 年 3 月より運用を開始した。サイトには約 150 コンテンツ約 8,000 頁分の関連ドキュメントを収蔵しており、連絡会を開催し運用している。

6. おわりに

MagHEM プロジェクトにおいて霞が関分室で実施した、磁性材料と高効率モーターに関する技術動向調査を以下総括する。

第 1 期は各分野の専門委員の支援を受け、磁性材料（永久磁石、軟磁性材料）、高効率モーター技術分野における、プロジェクトスタート時点での日本の技術的立ち位置を把握することを目的に、2012 年以前の重要特許技術、関連する重要論文を抽出し、詳細な技術動向分析を実施した。第 2 期では調査対象を限定しつつ、第 1 期でカバーできなかった希土類資源や市場動向にもスポットを当て調査を行った。磁性材料およびモーターについては、2010 年以降急激に研究開発が活発化し、技術が進歩している中国に焦点を当て、2012 年以降の技術動向の把握に努めた。

永久磁石材料：高機能希土類磁石の材料技術は、2010 年まで日本が中国に対し圧倒的に優位にあったが 2015 年以降、中国磁石メーカーの技術向上が著しく進み、日本の磁石メーカーの優位性は基本特許の失効もあり崩れつつある。現在中国トップメーカーの NdFeB 系高性能焼結磁石の性能は、日本の主要磁石メーカーの性能と同水準まで向上している。希土類資源の有効活用として中国では廉価磁石への Ce の適用が着実に進んでいる。MagHEM プロジェクトの成果である、省 Nd 磁石や Fe-Ni

磁石の開発は、高機能を維持しつつ希土類資源の有効活用を図ると中国とは別の視点から進められた画期的な発明であり、今後の発展が期待される。ESICMM プロジェクトの中で、理論的に解明された永久磁石の保磁力発生機構など、これまで原理検証がなされていなかった磁石材料に関する理論が構築されたことにより、既存材料の高機能化や次世代高性能永久磁石の実用化など、中国との差別化に繋がることが期待出来る。希土類資源に対するリスクは、社会状況により変動すると想定される。材料技術とモーター設計技術を組み合わせることで、リスクを軽減することが求められる。**軟磁性材料：**今後もモーターコア材としての Fe-Si 電磁鋼板の立ち位置は変わらないと想定される。高 Si 電磁鋼板、Fe 基アモルファスや Fe 基ナノ結晶材料、Fe-Co 合金、圧粉磁心などが、それぞれの特長を活かしてモーターコアへの活用が広がると考えられるが、適用範囲はある程度限定されたものとなる。軟磁性材料分野においても、近年中国での研究開発は極めて活発である。**高効率モーター技術：**直近 5 年間中国機関からの主要ジャーナルへの論文投稿数が圧倒的に多いが、現時点では技術的に欧米日が優位にあると推察される。特許技術では、日本メーカーからの製造技術に関する出願が多い。新構造や先進的なモーターに関する出願は欧米メーカーからの出願が多い。中国メーカーからの国際出願は増加傾向にあるが現時点では限定されており、発展途上にあると考える。

MagHEM プロジェクトで確立された、材料メーカーとモーターメーカーが一体となり開発を進めるというモデルが、今後の高効率モーターの社会実装において定着し、日本のものづくり技術の更なる発展に繋がるとを期待したい。

霞が関分室報告書(最終)-4

1. 高効率モーター-2015年以降の米国特許による技術動向分析 (第2期調査報告書(2022.2)本編)	1
2. 高効率モーター-2015年以降の論文による技術動向分析 (第2期調査報告書(2022.2)本編)	110
3. 国内磁石材料特許調査-2 (2019年以降公開分) -2020年3月報告書の続編 (第2期調査報告書(2022.2)本編)	194
4. 中国磁石材料特許調査-2 (2019年以降公開分) -2020年3月報告書の続編 (第2期調査報告書(2022.2)本編)	227
5. Appendix	280
5-1. 霞が関分室短信第1号~第14号の内容リスト	280
5-2. MagHEM活動に関連するJRCMニュースリストと霞が関分室執筆分記事	299
5-3. 各種外注調査支援報告書概要	364
5-3-1. 軟磁性材料2015年以降の中国特許による技術動向分析	364
5-3-2. 高効率モーター-2015年以降の中国特許による技術動向分析	413
5-3-3. 高効率モーター-密度モーター-発電機の最新技術動向(概要)	444
6. 磁石論文による技術動向分析-2 (2020年以降公開分) -2021年3月報告書の続編 (第2期調査報告書(2022.2)本編)	485

霞が関分室報告書(最終)-6

1-1. 第1期成果報告書(概要)	1
1-2. 第1期成果報告書(詳細)	22
2-1. 磁石材料特許による技術動向分析(総括編)	127
2-2. 軟磁性材料特許による技術動向分析(総括編)	170
3-1. 高効率モーター特許による技術動向分析(総括編)	218
3-2. 磁石技術重要特許ハンドブック(概要)	247
3-3. 軟磁性材料重要特許ハンドブック(概要)	257
4-1. 高効率モーター-重要特許ハンドブック(概要)	289
4-2. 磁石技術重要論文ハンドブック(概要)	315
4-3. 軟磁性材料重要論文ハンドブック(概要)	338
5. 高効率モーター-重要論文ハンドブック(概要)	364
6. 高効率モーター調査による技術動向分析並びに総括	423

霞が関分室報告書(最終)-5

1. 第2期調査報告書(2021.3)本編	1
軟磁性材料論文による技術動向分析	8
磁石論文による技術動向分析	19
2. 第2期調査報告書(2020.3)本編	153
① 国内磁石材料特許調査の概要	155
② 海外磁石材料特許調査の概要	170
③ 論文による技術動向調査(磁石材料、モーター)	193
3. 第2期調査報告書(2018.5)本編	197
① 特許調査の概要	199
② 国内磁石材料特許調査	203
③ 海外磁石材料特許調査	233
④ 論文による技術動向調査	248
⑤ 学会などの技術動向情報調査	261
4. Appendix	307
4-1. 第7回~第11回技術動向分析会議議事録と霞が関分室報告資料	307
4-2. 各種報告資料	408
① 進捗確認会議資料(技術) (2021.11.20)	417
② 技術推進委員会 分室報告資料(2020.1.24)	433
③ 研究評価委員会(中間評価)分科会 分室報告資料(2019.8.21)	443
④ 技術推進委員会 分室報告資料(2018.1.24)	449
⑤ 進捗確認会議資料(2017.7.7)	457
⑥ 自動車向けレアース磁石のリソース(関連資料)(2017.12.7)	470
⑦ 自動車に使用される材料(2017.8.31)	474
4-3. 各種講演発表資料	478
① 第41回「モーター技術セッションB4新磁石材料とモーター(2021.6.29)」	478
講演スライド「高効率モーター用磁性材料の技術動向」	503
② 第35回「W-エレクトロニクス学会専本講演会(2020.11.21)」	503
講演スライド「用磁性材料の動向」	524
③ 電気学会産業応用フォーラム予稿(2020.2.25)	524
「モーター磁石材料のグローバル最新動向」	537
④ 電気学会産業応用フォーラム大会講演予稿(2019.8.21)	537
「高効率モーター用磁性材料の技術動向」	543
⑤ MagHEM・ESICMM合同成果報告会(2021.12.1)ポスター	543
「高効率モーター用磁性材料の技術動向」	544
⑥ MagHEM・ESICMM合同成果報告会(2018.12.6)ポスター	544
「特許-技術動向調査 共通基盤 調査-技術-」	

図 2. 霞が関分室報告書 (No.4 ~ 6)

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 433 号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複製・複製・転載することを禁じます。

発行 2023 年 1 月 1 日
 発行人 小紫 正樹
 発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター
 〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目 5 番 11 号 第 11 東洋海事ビル 6 階
 TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285
 ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>
 E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp