

TODAY



## パリ協定と COP26

東京大学公共政策大学院 客員教授  
大成建設(株) 常務執行役員

本部 和彦

### パリ協定から COP26 まで

先進国のみが削減義務を負う“京都議定書”から世界全体で気候変動問題に対応する“パリ協定”に合意したのが2015年。京都議定書を批准しなかった米国、世界最大の排出国となった中国などを削減行動に参加させるためにとられたのが、日本が提唱したボトムアップ型の緩やかなアプローチ。削減は“国別貢献(NDC)”に名前を変え、その登録が義務となり、“グローバル・ストックテイク”と称する5年毎の世界全体での進捗状況把握を踏まえて各国は自主的に新しいNDCを登録する仕組みとなった。

こうした緩やかな仕組みを通じて目指すのが世界の平均気温の上昇幅を“2℃を十分下回る(well below)”レベルに抑え、更に“1.5℃”に向けて努力することであり、途上国の削減努力を先進国が資金と技術の両面から支援することとされた。

しかし本紙第400号に記載したように、エネルギー起源CO<sub>2</sub>を中心に世界の温室効果ガスの排出量は2015年以降も拡大基調にあり、目標の実現は2020年の協定実施スタート時点でほぼ不可能と見られていた。

このため、欧州を中心に2015年の協定成立時に各国が登録した2030年目標を直ちに直視すべきとの意見が高まり、気候変動対応に積極的な米国バイデン政権の誕生も後押しして、多くの国がCOP26前に2030年の削減目標を更新した。基準年は異なるが、欧州の▲55%、米国の▲50~52%、日本の▲46%などである。一方、中国やインドは2030年目標を変更しなかったことから、COP26直前に公表された国連NDC統合報告書などでは、これらの改訂された目標を積み上げても依然としてwell below 2℃目標に到達しないと評価された。

### COP26 とグラスゴー合意

1.5℃目標が主役に躍り出た本年11月の英国グラスゴーでのCOP26の主要な成果は、以下の通りである。

- 現在の各国の目標では不足する削減量を補うための野心の引き上げメカニズムのスタート
- 対策の講じられていない石炭火力発電の通減及び非効率な化石燃料補助金からのフェーズアウトを含む努力の加速
- 排出削減量を取引する市場メカニズムについて合意し、パリ協定のルールブックが完成
- 温室効果ガスの削減目標を2025年に2035年目標、2030年に2040年目標とすることを奨励など  
このうち石炭火力発電の取り扱いについては、合意の最

終段階で、インドのなどの主張を踏まえ、廃止から通減にトーンダウンされたものである。

また、42カ国が賛同する電力など5分野のクリーン技術の開発・展開を加速する“グラスゴー・ブレイクスルー(GB)”、47カ国が賛同する“世界の石炭からクリーン電力への移行に関する宣言”、24カ国が賛同する“100%ゼロエミ車化宣言”など複数のイニシアチブも合意された。日本はこのうちGBの4分野のみに参加を表明している。

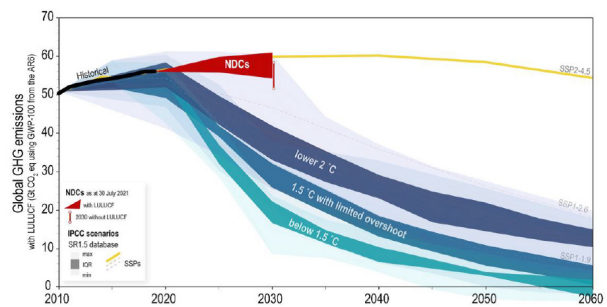
1.5℃目標が主役となり、環境系NGOや金融などの外圧によって、目標実現可能レベルまで各国に削減目標の深堀りを求めるという今回のCOPから見えるのは、パリ協定の京都議定書化である。

### グラスゴー後は？

日本の削減目標も達成困難だが、グラスゴーで主役を担った米国バイデン政権は目標達成のための巨額の歳出法案が上院で頓挫しかねない状況となっており、スタート時点で赤信号が点灯しようとしている。来年の中間選挙で上下院のどちらかが共和党優位となれば更に状況は悪化する。

他方、大排出国である中印は、当面2030年目標とそれぞれ2060年、2070年としたカーボンニュートラルの達成時期を見直すことはないだろう。理由は、実現可能性と責任論である。主要途上国の主張は、先進国が2050年カーボンニュートラルの実現を目指したいなら、自らは2050年より早くニュートラルを達成し、途上国の排出枠を確保せよというものだ。気候変動を巡る新たな南北対立が強く懸念される。

更に、実物経済の動向を踏まえると、早ければ2025年、遅くとも2030年の目標改訂時にはオーバーシュート、つまり2050年以降の大幅なマイナス排出量を認めない限り、1.5℃目標の実現が不可能であることが明らかになるだろう。この時点で、新たな目標をどう設定し、どう国際連携をとるか、削減と適応のバランスをどうするかなどそれまでに検討しておくべき課題は多いが、残された時間はあまりに少ない。



図：NDCに基づく排出量とIPCC 1.5℃特別報告書における3つの温度目標の求める排出量との比較

(出典) NDC 統合報告書 (2021)

- 1) 国連気候変動枠組条約第26回締約国会議(COP26)の概要 外務省など <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100261264.pdf>
- 2) 国連NDC統合報告書(2021) [https://unfccc.int/sites/default/files/resourcelibrary/cma2021\\_08E.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resourcelibrary/cma2021_08E.pdf)

## 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発 プロジェクト第二期の成果

高効率モーター用磁性材料技術研究組合 専務理事 立石 裕

### 1. はじめに

「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」は、2012年度に「未来開拓技術実現プロジェクト」の一環として、経済産業省からの委託事業として10年間の計画で開始された。高効率モーター用磁性材料技術研究組合 (MagHEM) が本事業の実施母体として2012年9月25日に設立され、2014年度からは事業が新エネルギー・産業技術開発機構 (NEDO) に移管されたため、以後 NEDO 委託事業として実施しており、2022年2月28日を以て終了となる。本プロジェクトは、レアアースに依存しない革新的な高性能磁石の開発、さらにはモーターを駆動するための電気エネルギーの損失を少なくする軟磁性材料の開発を行うと共に、新規磁石、新規軟磁性材料の性能を最大限に生かして、更なる高効率を達成できるモーター設計技術の開発を行うことで、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省エネ化・競争力を確保し、我が国産業全体の活性化に寄与することを目的としている。

電動自動車の駆動用主機モーターに使用されるネオジム磁石は、モーター稼働時の温度上昇により、磁石特性が常温時に比べて低下するという課題がある。この課題を解決するため、ジスプロシム等の重希土類を少量添加するという手法が用いられているが、重希土類の生産が特定国に限定されているため、2010年代に入って資源制約の問題が顕在化した。2012～2016年度のプロジェクト第1期では、主として重希土類を使わないネオジム磁石の高性能化と、モーター鉄心用の高性能軟磁性材料開発、について重点的に開発を行い、目標をほぼ達成した。2017～2021年度のプロジェクト第2期では、ネオジムの資源制約を考慮した新規高性能磁石開発に特化して取り組むこととし、軟磁性材料やモーター評価技術・設計技術開発の成果と合わせて、従来モーター比でエネルギー損失の40%低減と40%の小型化の実現を目指すこととなった。磁石特性の向上は、モーター特性の向上に直結するとは限らない。このため、材料特性を活かしたモーター設計技術の開発に取り組むとともに、設計に必要な種々の材料特性の評価技術を開発することにより、精度の高いシミュレーション技術を開発し、設計精度の飛躍的な向上を目指している。

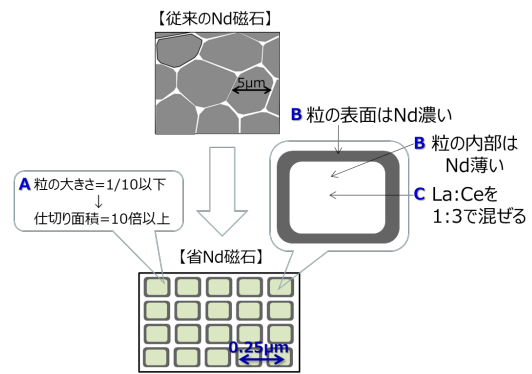
### 2. 第2期の研究開発成果

#### 2-1 新規高性能磁石開発

##### ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

##### ナノ複相組織制御磁石の研究開発 (東富士分室)

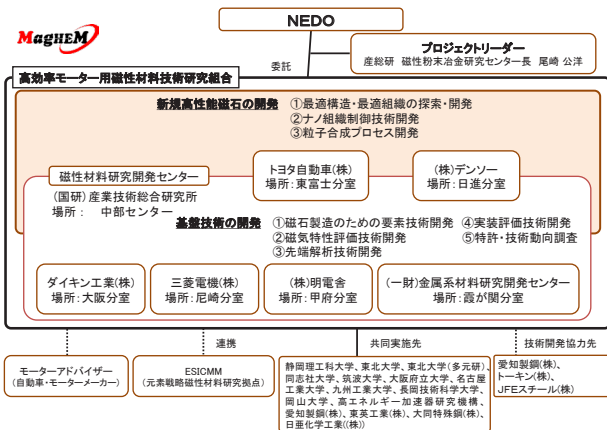
長期的な需給動向を見据えると、主要材料である Nd 使用量の削減が重要である。Nd を豊富で安価な La・Ce に代替することで、供給不安解消やコスト低減の効果が期待されるが、単純に混合合金にするだけでは、必要な耐熱性・磁力ともに改善が見込まれない。必要な性能を維持しながら活用するための工夫が必要であり、磁石を構成する粒の微細化、結晶粒の表面に特性が高い殻を持つ二層構造化 (コアシェル構造)、La と Ce の特定の配合比、の3つの技術開発により、Nd を一部 La・Ce に置き換えても、Dy 入りの従来磁石に対して性能向上させることができ、省 Nd と耐熱化の両立に成功した<sup>1)</sup>。新開発の省 Nd 磁石は、Nd 量を制御することにより性能制御が可能であり、用途に応じて20～50%の Nd 削減が可能である。また、機械学習手法やベイズ推定を用い、新たな元素置換による高温における高い磁化の発現に成功し、目標である 50MG0e@180℃に向けた超 Nd 磁石の開発も進めている。並行して、磁石メーカー大同特殊鋼と共同実施を開始し、モーターへ実装可能な100個レベルの中量磁石の試作技術を確認した。開発磁石の、MagHEM 内他分室への提供を通じ、試作磁石を実装したモーターの実証評価を開始している。



#### ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

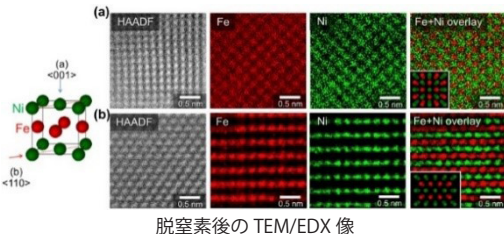
##### FeNi 超格子磁石材料の研究開発 (日進分室)

FeNi 超格子は Fe の層と Ni の層が規則正しく積層した結晶構造 (L10 型規則合金) であり、材料特性から、目標である「180℃でネオジム磁石の2倍の最大エネルギー積 50MG0e」を達成可能と考えられる。しかしながら、FeNi 超格子は自然界では鉄隕石中に微量存在するのみで、工業的な合成法が確立されていない。MagHEM では、世界で初めて新規な規則合金合成法である「窒化・脱窒素法」の開発に成功した。窒化脱窒素法とは、出発物質である FeNi ランダム合金をアンモニアガスで窒化することで規則化した前駆体である窒化物を合成し、この窒化物に水素ガスを反応させ、Fe と Ni の規則構造を維持した状態から窒素を脱離原子レベルで、Fe と Ni の規則配列を確認す



MagHEMの研究開発体制

ることで FeNi 規則合金を得る手法である。本手法を用いることで、高い規則度を持った FeNi 超格子が粉末状で得られる。得られた磁粉を用いてボンド磁石成形技術開発を行い、FeNi 超格子がボンド磁石として機能することを確認するとともに、小型モーターを試作し、200℃まで特性が維持できることを確認した。保磁力の向上と量産化のためのスケールアップ技術開発を継続している。



## 2-2 共通基盤技術の開発

### 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援 (霞が関分室)

磁石材料を中心とした最新の特許調査・技術動向調査を実施した。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、国内並びに中国の永久磁石モーターの特許調査を行った。さらに、2015 年以降に公開された国内外の磁石材料と軟磁性材料に関する論文調査結果に基づき技術動向分析を行った。国内学会、国際会議 (MMM、WMM、ICEMS、CREPMIMAS) 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。本プロジェクトのバックグラウンド情報として、希土類原料供給動向、高性能磁石市場動向についての情報収集を行い、関係者に提供している。

### 共通基盤技術の開発

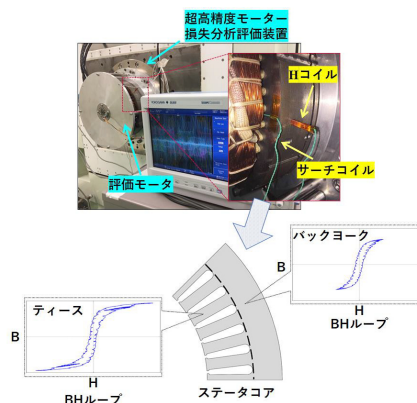
#### 評価・シミュレーション技術の開発 (磁性材料研究開発センター)

磁性材料の製造プロセスの高度化に寄与することを目的として、粒子法による粉末成形・粉碎に関するプロセスシミュレーション技術を統合的に開発し、圧粉整形への磁場配向の効果、ジェットミルによる碎粉過程、粉末充填プロセスなどを解析した。また、磁性材料の配向度分布を可視化する技術を開発した。さらに、計算手法を取り入れた高速・高精度に高保磁力磁石を測定できる技術の確立と国際標準化に向けた取り組みを行っている。日進分室と共同で、低酸素下で微小粒子を作製できる物理的手法を用いて、Nd-Fe 系ナノ粒子合成および非希土類系磁性材料 (Fe-Ni) のナノ粒子合成を行なっている。

#### モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発 (大阪分室)

モーターに組み込まれた永久磁石は、運転時の経験磁界の影響により、製造時よりも特性が低下する減磁を起こすことが知られているが、この減磁分布を三次元的に評価する手法を開発し、磁石整形時の金型接触面磁石の減磁率が大きいことを見出し、設計要因として考慮すべきことを明らかにした。また、モーター鉄心の鉄損評価技術として、H コイルとサーチコイルを用いた局所的な BH 曲線の測定手法を開発し、BH 曲線の測定ポイントを増やし、測定分解能を高めた。その結果インバータ励磁による損失増大を見出し、インバータ制御の改善により損失を低減できることを示した。さらに、駆動用モーターの高頻度負荷点におけるモーター損失 (鉄損・銅損) を正確に測定するため、誤

差要因となっている軸受摩擦損失を低減できる、非接触の磁気軸受を搭載した超高精度モーター損失分析評価装置を開発し、軸受摩擦損失を定格出力の 0.1% 以下に低減した。

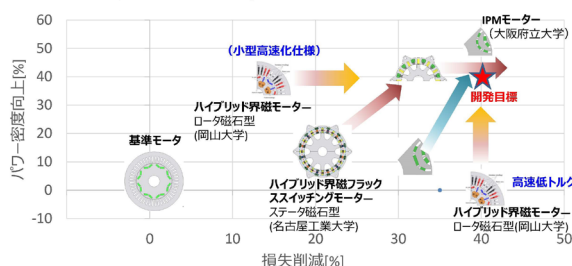


PM モーターについて、高磁力磁石に適した鉄損低減が可能な 2 層磁石構造を採用し、出力密度向上のため、外径を 80% にし、高速化したモデルにて、パワー密度 40% 以上向上、モーター損失 40% 以上削減を解析にて実現した。また、このモーターを試作し、実測した結果、市街地走行評価点において、45% の損失削減を達成した。さらに東富士分室開発の磁石を採用した試作機の評価を実施しており、市街地走行評価点で、損失約 40% 低減目標を達成し、更に保磁力を改善した東富士分室開発の磁石による試作評価を行っている。また、ステータに配置した磁石の磁束を、運転モードに応じた最適なモーター定数で運転することができるハイブリッド界磁フラックススイッチングモーターを開発しており、広範囲での高効率化が実現できる。解析においては、モーター損失最大 60% 削減が可能であり、解析精度等を考慮して、実際のモーターでは、40% 削減を目指している。

### モーター設計の目標値と現状



目標とする磁石 (50MGOe@180°C) を搭載にて、モーターの目標達成 (解析)



#### モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発 (尼崎分室)

モーター内では磁性材料に応力がかかり、損失が増加するため、磁性材料がモーター実装時に受ける応力を考慮した材料特性評価技術を開発している。リアルタイム磁区観察システムを用いて、減磁領域の特定技術の基礎検討および減磁領域のリアルタイムな磁区観測を実施し、減磁耐力向上に必要な要因を明らかにした。

モーター状態を想定した高温、応力環境下における磁気特性への影響を定量化するため、軟磁性材料 (ナノ結晶バルク) の応力と温度に関する鉄損への影響を実測 (応力範囲 10MPa, 温度 20-80 度) し、温度上昇とともに、ヒステリシス損失はやや低下すること、応力印加とともに、ヒステリシス損は増加し、低磁束密度ほど増加量が多いことを見出した。

## モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発 (甲府分室)

モーター損失分離評価装置を開発し、各種モーター模擬供試体の損失を測定し、機械損から風損の抽出とステータコアの鉄損の分離を行った。また回転数一定状態で、装置の供試体上部に設置した真空ポンプにて、供試体周囲を減圧した状態で機械損を測定し、「空気との摩擦損失である風損」と「摺動部品との摩擦損失」に分離した。

高トルクかつ高出力範囲を高効率で駆動できるモーターとして可変磁束モーターに着目し、その中でもロータに界磁巻線を備えることで界磁磁束を能動的に可変でき、リラクタンストルクを有効に活用できる。逆突極性を有するハイブリッド界磁モーター（以下、HEM）を提案した。HEMは低トルク領域、低速高トルク領域、定出力領域の幅広い運転範囲において高効率特性を有し、特に、高速・低トルク域での鉄損低減効果が高く、同領域で損失目標を達成可能なことを示した。

### 磁石開発とモーター技術開発の連携

MagHEMにおいては、材料技術を開発する分室とモーター技術を開発する分室が定期的に情報交換を行い、それぞれの成果を可能な限り相互にフィードバックすることにより、迅速な開発スパイラルを実現してきた。すでに、開発磁石をモーター側に提供することにより、試作実証も行っている。こうした密接な連携により、開発課題の発掘が早期に進められ、磁石特性の向上を速やかにモーター設計に反映させることが可能になった。

### 社会実装を目指して

MagHEMの開発成果はまだ実際の市場化には至っていないが、学会発表・成果報告会や種々の展示会におけるPR活動の結果、関連企業からサンプル提供の要望など、関心が寄せられており、組合員企業だけでなく、幅広い分野における実用化につながるものと想定している。特

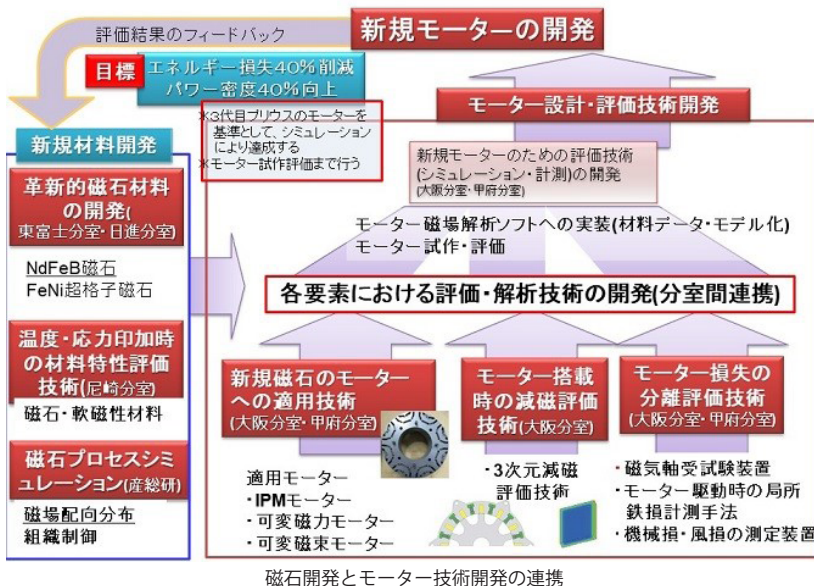
に2050年のカーボンニュートラルのため、モビリティを中心に種々の分野での電動化の動きが活発になってきており、キーコンポーネントであるモーター技術の高性能化に大きく貢献できると期待される。磁石の場合、基礎研究から研究開発を通じた材料開発の成果の最大化に向け、MagHEMの強みである、モーターに適した材料、材料を活かしたモーターの設計技術を開発し、知財化を行っている。新規磁石の材料設計技術を磁石メーカーに技術提供することで、磁石材料の工業的な供給体制の構築を目指している。こうした活動により、使える磁石としての社会実装を目指して、展示会などで非自動車も含めた用途開発にも注力している。このような多様な用途開発を通じた技術の市場への先行投入により、使用実績の積み上げをはかり、最終的にプロジェクトの出発点である、新規磁性材料を実装した新設計モーターの実車への車載実現を目指している。こうした社会実装に向けた活動を、プロジェクト参加メンバーが連携し、一体となって開発推進している。これまでに、ナノテク展ほかでの技術訴求により、各種磁石ユーザーとのディスカッションを通じて、社会実装に向けた大きな手ごたえを得ている。

### 期待されるアウトカム

開発成果の直接的な市場創出効果および省レアアース化による経済効果を試算すると、第一期分と合わせて2030年において約1290億円の市場創出効果が見込まれる。また、新規磁石の開発には、特殊な製造技術や製造装置を用いていないため、従来磁石と同程度の価格で市場に供給できる見込みであり、モーター事業としての採算性は十分に高いものと考えている。

成果普及による直接的なCO<sub>2</sub>排出量削減としては、次世代自動車用高性能モーターは、エアコンなどの家電製品、ならびに産業用ロボットなどの産業機器に波及拡大するため、国内電力消費量の約半分を占めるモーター全体の効率を上げることができると期待される。ジスプロシウムフリー磁石を用いた高効率モーターへのシフトを考慮した場合、第一期分と合わせて2030年に年間約890万トンのCO<sub>2</sub>排出量削減が見込まれる。政府が掲げる、2050年にCO<sub>2</sub>（二酸化炭素）など温室効果ガスの実質排出ゼロをめざす「2050年カーボンニュートラル」の実現に向けたスタートアップに貢献できる。磁石の省レアアース化により、資源制約リスク回避だけではなく、使用量を削減することにより、地球規模において、鉱山における採掘過程も含めたライフサイクルCO<sub>2</sub>コストの削減や、環境負荷の低減に資することも期待される。

本プロジェクトの成果の詳細については、NEDOホームページにおいて成果報告書として公開される予定である。



The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第423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写・複製・転載することを禁じます。

発行 2022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](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)