

サムコ科学技術振興財団 2023年度 第7回 研究助成金贈呈式 記念講演「Nd-Fe-B磁石の発明から 一研究のNucleationを成功させよう」

サムコ科学技術振興財団 2023年度 第7回研究助成金贈呈式が、9月13日に京都リサーチパークにて開催されました。贈呈式に続いて行われた記念講演に佐川真人先生(大同特殊鋼株式会社 顧問、NDFEB株式会社 代表取締役)をお招きし、講演を行っていただきました。記念講演の要旨をご紹介します。



大同特殊鋼株式会社 顧問、 NDFEB株式会社 代表取締役 佐川 真人 先生

学歴	1966年3月 神戸大学工学部電気工学科卒業	受賞・表彰歴	1984年 大阪科学賞
	1968年3月 神戸大学大学院修士課程(電気工学)修了		1985年 科学技術庁長官賞
	1972年3月 東北大学大学院博士課程修了(金属材料工学)、学位取得(工学博士)		1986年 米国物理学会 International Prize for New Materials
略歴	1972年4月 富士通株式会社 入社(1982年5月まで)		1988年 日本金属学会功績賞
	1982年5月 住友特殊金属株式会社(現 株式会社プロテリアル)入社(1988年2月まで)		1990年 朝日賞
	1988年3月 インターメタリックス株式会社 設立、同社代表取締役 就任(2012年6月まで)		1991年 日本応用磁気学会 学会賞
	2013年12月 NDFEB株式会社 設立、同社代表取締役 就任(現任)		1993年 大河内記念賞
	2016年10月 大同特殊鋼株式会社 顧問 就任(現任)		1998年 Acta Metallurgica J. Hollomon Award
	2017年4月 日本電産株式会社(現 ニデック株式会社) 顧問 就任(2019年3月まで)		2003年 本多記念賞
	2017年4月 京都大学エネルギー理工学研究所 特任教授 就任(2019年3月まで)		2006年 加藤記念賞
	2019年10月 東北大学 特別招聘プロフェッサー称号 授与(現任)		2012年 日本国際賞
	2022年7月 名城大学カーボンニュートラル研究推進機構 シニアフェロー 就任(現任)		2016年 永守賞特別賞
			2018年 NIMS Award2018
			2020年 日本金属学会賞
			2022年 エリザベス女王工学賞 Queen Elizabeth Prize for Engineering
			2022年 IEEE Medal for Environmental and Safety Technologies

▶ はじめに

サムコ科学技術振興財団の研究助成金を受けられました7名の研究者の皆様、おめでとうございます。私は、現在の大学や企業の研究者には、今のやり方ではなく、もっと大きく広がるような研究や従来の壁を突破するような研究をしてほしいと思っています。では一体どのような研究をすればよいのかについて、これからお話をします。

▶ 10年後のニーズにもとづく研究のすすめ

私は会社に所属した際、初めてニーズにもとづく研究をやりました。結果、上手くいくことは多かったのですが「ニーズにもとづく研究は駄目だ」と叱られることもあり。材料科学で著名な増本健先生の論文『材料科学のイノベーションを目指して』においても、「目的が先に決まっている計画的な研究でノーベル賞が取れたことがない」と語られています。また、NHKの『未来の研究者を目指す若者へ』でも、ノーベル生理学・医学賞を受賞された大隈良典先生が「その研究が何の役に立つかと聞いてはいけぬ」「ニーズにもとづく研究をしようと言っただけではいけぬ」と語っておられます。「何の役に立つのか?」から出発すると研究のスケールが小さくなるため、もっと大きなスケールの研究をしなければノーベル賞の受賞者は出てこないというのだらうと私は感じました。

こうした意見もありますが、私は「10年後の」ニーズにもとづく研究をしてほしいと思っています。目標を10年後とすることで、今は実現していないが現実離れもしていないという手ごろな目標を設定できるためです。そうすれば新研究分野のNucleation(ニュークリエーション)が狙えると考えます。私の場合、Sm-Co(サマリウム・コバルト)磁石しか存在しない時代に、誰もやっていなかった希土類+鉄の磁石が10年後のニーズであると見え、非公式の研究テーマに取り上げたことでNd-Fe-B磁石(ネオジム磁石)の芽を見つけました。私はこれを新研究分野のNucleationと呼

んでいます。

今日、私が申し上げたいのは、ネオジム磁石の芽を見つけたことは新研究分野のNucleationであったことと、日本の研究者の皆様には10年後のニーズにもとづく研究で新研究分野のNucleationを起こしていただきたいということです。

▶ ネオジム磁石をどうやって見つけたか?

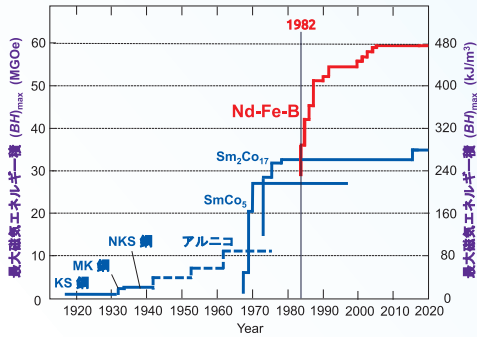
私は、材料科学者を目指して神戸大学工学部で電気工学を学び、大学院から表面物理科学の研究室に所属しました。研究テーマは『固体表面の性質、構造、結晶成長の研究』で、研究も材料科学の勉強も精一杯やり、東北大学大学院で博士(工学博士)の学位を取得しましたが、ジャーナル等への論文投稿には至らず、よくできる研究者にはなれませんでした。大学に残りたい思いがあったものの、富士通研究所材料研究部に就職しました。配属後、会社から与えられた研究テーマは「リレーやスイッチに使う磁性材料の開発」でした。当時、自分に自信がなかった私にとって磁性材料の研究は未知の領域であり、目の前が真っ暗になりました。しかし、磁性材料の書籍で一生懸命に勉強をしました。すると、会社の研究は目的がはっきりしていて能力を発揮しやすいことが分かってきました。上司からも高く評価されて自信も付いてきました。入社5年目、新たな研究テーマとして『フライングスイッチ用Sm-Co磁石の開発』という永久磁石のテーマが与えられました。フライングスイッチとは、直径が3mm程の細いガラス管の中に小さな磁石を入れ、外部に取り付けたコイルにパルス電流を流し、磁石が動くことで電流をオン・オフさせるスイッチで、当時の最強磁石だったSm-Co磁石が使われていました。磁石の動く距離は0.1mm程ですが、使う回数が増えると磁石が欠けるため、丈夫で壊れないSm-Co磁石の開発を私一人で行うことになりました。正規の研究テーマ『Sm-Co磁石の機械的強度改良』のスタートです。以降、磁石の研究は全て独学でやり、

サンプル作製装置や磁気特性の評価装置を自作したりして、磁石の研究の面白さに没頭しました。

磁石の歴史を振り返ると、1977年以降、Sm-Co磁石が急激に発展していました。皆がSm-Co磁石の製造方法や材料組成を変えて性能を伸ばしていた時代です。磁石を構成する元素は、鉄(Fe)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)である鉄族元素T(Transitional metal)と、17種類の元素からなる希土類元素R(Rare earth)であり、このTとRを組み合わせると強い磁石になることは1960年頃に分かったようです。1960~1970年頃、Tにコバルト、Rにサマリウムを使うことで大成功していました。当時の私はSm-Co磁石の勉強に勤しみ、壊れないSm-Co磁石の開発も順調に進めていました。一方で、資源が無尽蔵にあり、コバルトより磁気モーメント(磁気的作用を表す量、磁気能率)が高い「鉄」は一切使われておらず、誰も研究をしていませんでした。「理論的には可能なはずなのに、鉄を使ったR-Fe磁石が何故できないのか?」という疑問が湧きました。ここから私の非正規の研究テーマ(非公認のアングラ研究)である『R-Fe磁石の開発』がスタートしました。

当時は家で考えたり勉強したり、土曜に会社の実験室でサンプルを自作していましたが、残念ながらアイデアは浮かびませんでした。そんな時、1978年1月、『希土類磁石の基礎から応用まで』というシンポジウムに出席しました。発表はコバルトを使った磁石ばかりで、鉄を使った磁石は誰もやっていません。ところが東北大(当時)の浜野正昭先生がヒントを与えてくれました。ほんの数分間、希土類+鉄の結晶構造の化合物を示され、「鉄と鉄の原子間距離が短すぎるため強磁性体としての安定性が低くなる」と解説されました。その時、私は「結晶構造を広げるなら、カーボン(C)やボロン(B)のような小さい原子を入れれば、結晶格子が膨張して、原子間距離が広がるのでは?」というアイデアが思い浮かび、すぐ実験

に取り掛かりました。当時、会社の研究用に多くの希土類の元素を集めていた私は、様々な組み合わせで実験を繰り返し、比較的早い段階で、ネオジム+鉄+ボロン(Nd-Fe-B)の組み合わせが有望なことを発見しました。1978年の終わりから1979年の初め頃です。この段階で、R-Fe磁石の研究をしたいと上司に進言しましたが、会社の方針で磁石の研究を止めることが決まりました。ネオジム磁石は社会が必要としていると確信していた私は、1982年に大阪の磁石メーカーである住友特殊金属株式会社(現 株式会社プロテリアル)に転職しました。そして同年7月、住友特殊金属の実験室で世界最強のネオジム磁石が誕生しました。住友特殊金属では「お金はいくら使ってもいいし、人もいくらでも出す」と言ってもらい、当初2人だったメンバーも10数人にまで増えました。その後、様々な特許を発表しながら、1983年11月に米国ピッツバーグで世界最強のネオジム磁石の学会発表を行い、今現在も世界最強を維持しています。



世界最強磁石の変遷

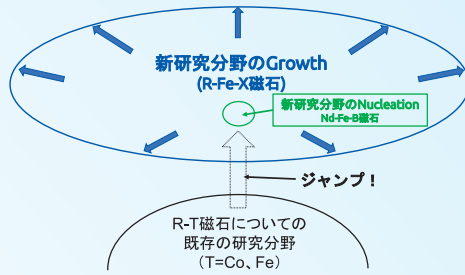
▶ ネオジム磁石の用途

ネオジム磁石は身近な製品に搭載されています。コンピューターのHDDは重さ10キロあったものが、ネオジム磁石を使うことで手に乗るサイズにまで小さくなりました。スマートフォン、エアコン、産業ロボット、電気自動車、風力発電機などにも使われており、多くの製品の小型・軽量化、高機能化に大きく貢献しています。ネオジム磁石の世界の年間生産量は、2000年には約1万トンでしたが、2021年には15万トンを超えています。

▶ ネオジム磁石の発明は、研究のNucleationであった

希土類+鉄磁石の開発について振り返りますと、当時のデータや技術、知識を集めて、どう展開していくかを考える訳ですが、役に立つデータが全くなくすぐ頓挫してしまうため、論理的に考えてもどうにもならないことがあります。例えば、コバルトを鉄に置き換える際、鉄を20%くらい置き換えたあたりから磁力がガクッと落ちてしまう現象がありました。また、ネオジム磁石も同様に、鉄をコバルトに置き換えていっても同じように磁力が落ちてしまいますので、単にコバルトと鉄を入れ替えるという近視眼的に少しずつ変更する方法を取っていたのでは全く先を見通せないということです。どこかで一気にジャンプする必要があり、そのジャンプした先(従来技術から少し離れた先)に研究の新しいフロンティアがあると私は思っています。そこからグーッと研究が広がっていくのが新研究分野の膨張(Growth)です。

それから、ボロンは原子間距離を広めるという研究をしましたが、ボロンは鉄と鉄の原子間距離を広



げるには役立ってないことが分かりました。私の尊敬する金森順次郎先生は「ボロンと鉄が化学結合して、ボロン付きの鉄がコバルトそっくりになっている」「鉄がコバルトの合金のような状態になって磁気が強くなる」と説明されました。確かにコバルトを30~40%混ぜた鉄とコバルト磁石は磁気が強かったのですが、私は疑問を抱いておりました。その後、2017年に産総研の三宅隆さんが、仮想結晶の磁気モーメントを第一原理計算した方法で否定されました。ネオジム磁石のボロンの位置にVacancyとしてカーボン、窒素、酸素、フッ素などを入れた仮想的な結晶で磁気がどのように変化するかを計算されたところ、ボロンを入れた場合は磁気モーメントが低下することが分かり、逆効果であることが提言されました。つまり、ボロンの役割は何なのかというのは実は明確には分かっておりません。

私の功績は、正方晶Nd-Fe-B強磁性化合物を発見したこと、この化合物を含む磁石に適した磁石合金を発見したことの2つです。研究開始時の既存データからこのような研究をする場合、何もデータがないため提案書を書くことは不可能ですし、まるで予言書を書くようなものです。つまり、ネオジム磁石の発見は新研究分野のNucleationであったと言えるのです。

最近は文科省などからDXを用いた『データ創出・活用型材料研究開発プロジェクト事業』が強く推奨されています。存在しないデータをAIで創出する、あるいはAIでデータを探して発明・発見をしようという方法です。しかし、もっと大事なことは10年後の社会のニーズを早く見つけることだと思います。AIで研究テーマを見つけることはできませんし、私はDX法なしで発想から発明まで4年でできた実績があります。

▶ 会社の研究でも、アカデミアの研究でも、現在の体制では研究のNucleationは出てこない

会社の研究は全て計画的でニーズにもとづく研究であるため、必ず達成することが前提になっています。私も会社時代にやりました。一方、アカデミアの研究は野心的な目標を掲げたテーマが多い。科研費等で選ばれた研究者に重点的に予算配分され、選ばれた研究者は全力で取り組みますが、仮に不達成でも追及されていないように感じますので、これではNucleationになりません。つまり、会社の研究はGrowth的研究に限られ、アカデミアの研究も結局はGrowth的成果しか出てこない。現在の体制で研究のNucleationが出てくることは難しいのです。

▶ 研究のNucleationが出てくる研究体制の提案

そこで、私から研究のNucleationが出てくる研究体制を提案します。改めて私のR-Fe磁石

の研究は“10年後のニーズにもとづく研究”でした。Sm-Co磁石の時代は、当時の最先端であるSm-Co磁石の改良だけで磁気特性が上がって皆が喜び、それだけで充分に価値のある研究でした。そんな中、R-Fe磁石の研究は当時のニーズではなく、正に10年後のニーズだったのです。また、コバルトを鉄に変えるという現実離れしていない手ごころなテーマでもありました。そして、Sm-Co磁石の時代にR-Fe磁石は全く存在していなかったため、もし見つかればNucleation的な発見・発明になる可能性がありました。こういった模範的な研究テーマを探していただきたいのです。

私は、全ての研究者がアングラ研究として新研究分野のNucleationを目指す研究体制を実現してほしいと思っております。まず、各々がニーズを100%実現するアイデアを自分で考えます。研究テーマが見つければ、そのニーズを100%実現するアイデアを出していきます。そして、思考実験から実験室での実験で試料を作って評価します。評価して駄目なら何回もやり直します。これを何度も繰り返して上手くいかなければ、もう一度10年後のニーズを考えるとところに戻ります。何回も何回も繰り返すことで、有望な兆候を発見し、その兆候をしっかり捉え、新研究分野のNucleationを達成するような研究をしてもらいたいです。

新研究分野のNucleationを目指すためのポイントは6つです。1つ目は、各々がニーズを100%実現するアイデアを自分で考えること。2つ目は、目標(ターゲット)は10年後のニーズであり、現状とかけ離れたものではないこと。もちろん量産化は考慮する必要があります。3つ目は、目標(ターゲット)は今の時点では存在しないが、成功すればNucleation的成果になる可能性があること。4つ目は、研究のやり方を自分で考えること。何回もやり直しが可能で、成功すれば純粋に自分の成果になるため、やりがいがあります。5つ目は、実験・サンプル作製によりアイデアを発展させていくこと。6つ目は、全ての(若手)研究者は、グループ全体の研究活動に参加しつつ、一定比率の時間を自分独自の研究テーマをもってNucleation的成功を目指すことです。研究所によっては「我々は若手研究者には自由研究をさせている」と言われることもありますが、私は少し違うと思います。私の提案は、完全な自由ではなく10年後のニーズにもとづくという条件を持ったテーマを自ら探せます。このような公認のアングラ研究ができる研究体制を作るべきだと考えています。また、文科省では挑戦的萌芽研究等で予算を出しているという意見もありますが、これも私は違うと思っています。これは有望な兆候を発見した後で予算を配分しているのであり、私の提案はその前段階で研究支援をしたり予算を配分したりしようということです。

最後に、日本の全若手研究者がNucleationを狙う研究体制の条件を挙げます。『公認のアングラ研究』、『一定の少額予算』、『1年ごとに簡単な報告書提出』、『芽が出そうな有望な兆候を発見したら正式報告』、『期限5年』。これらの条件を満たし、皆が挑戦できるような研究体制ができれば、日本の若手研究者が世界をリードするようになる!と私は考えております。いかがでしょうか。以上が私の提案です。ご清聴ありがとうございました。