

特別寄稿：シリーズ 先端科学技術爽やか対談（3）

電力の利用効率を大きく高めるアモルファス 軟磁性材料を使ったトランスの普及を期待

日立金属株式会社 理事・軟磁性材料事業統括部長
メトグラス安来工場工場長
島根県産業技術センター 所長，大阪大学名誉教授

大久保由紀夫
吉野 勝美
(平成25年11月1日)

(吉野) 大久保さんお久しぶりです。いろいろご無理申し上げて申し訳ありません。

(大久保) とんでもございません。本当にお久しぶりです。本日は対談の機会を頂き、大変有り難うございます。高校・大学の先輩とお話できて光栄です。

(吉野) どうも有り難うございます。私、本務の研究開発の他に研究員の皆さんには非公式の研究をこっそりやっていいとむしろ奨励しています。お金も時間も余りかけずに本務に影響を与えない範囲で、自分で思いついたこと、関心あることを私に連絡することなく試みてもらっていいし、それがうまくいきましたら表に出して本格的なセンターの研究として取り上げたらいいし、ダメならその時点で忘れていいです、と云ってしまっていて、所長の私自身がやはり目立たない形で少しずつ非公式研究をやっています。

本来の私の専門からしたら随分分野の違うものをいろいろ手がけていますが、大分以前から磁性と生物の関係を調べたいと思っていて、強い磁石が欲しいと考えています。もし面白いことが出だしましたら、連絡します。ただ、協力してくれる研究者がいるわけでもないの、とても忙しい中うまくできるかどうかちょっと不安なところもありますが。

(大久保) それはいいですね、メンバーの方が自由な発想を発揮するチャンスが出るのではないのでしょうか？ でも周りの方々の理解を得ることはこのような県の組織ではそう簡単ではないのではないですか。

(吉野) そうですね。ただ今度の商工労働部長さんはその辺よく理解してもらっているみたいなんですよ。

(大久保) 今度の部長さんは中村さんでしょう。あの方とは高校も一緒だし、よく存じ上げています。

(吉野) そうですか。ということはお二人とも私の高等学校の後輩ということになりますね。失礼な云い方ですが。

(大久保) その通りです。10年以上後輩です(笑)。

(吉野) 実は私日立金属さんには知人、親族、友人がいっぱいいらんです。不思議なくらい。私の松江高校時代の友人で京大に行った仁宮君がいますが、彼は役員になっていましたね。もともと総務とか、人事が担当でして、私が現役の教授だったころ人事募集に訪ねてきてくれたんです。

私の叔父、従弟も役員でした。叔父、父の実の弟だったんですが、奥さんの家系が後を継ぐ人がいなくて絶えると云うことでかなり年配になってから奥さんの方の苗字に変えて吉野と名乗っていませんので、私にとっては分からなくて幸いでした。それから、まだまだいるんです。高級金属カンパニーの代表をやっている平木さんは私の同僚の息子さんです。それからもう退職していますが、私と阪大工学部同期の人も何人か日立金属にいました。他の会社にはそんなにたくさん関係者は普通いないんです。

(大久保) そうですか。不思議なご縁ですね。

(吉野) 大久保さん、日立金属で有名な超強烈な磁石がありますね。あの組成は何でしたでしょうかね、話題のレアアースとして何が入っていますか。ネオジウムNdでしょうか、それにジスプロシウムDyと云う普通専門外の人は聞いたことのないようなものも入っていると聞いたことがあります。差支えなかったら組成を教えてください。いろいろな種類のレアアースを使った磁石があるかもしれません。レアアースは現在中国が主な生産国ですが、戦略物質と位置付けて強烈的な輸出コントロールを行っていますね。勝手にやりすぎですよ、怪しからんと思っています。素材としてあまり心配ありませんか。

(大久保) あの磁石は、鉄Feを主成分として、微量のボ



写真：大久保由紀夫日立金属(株)理事・事業統括部長(右)と吉野勝美所長(左)
—島根県産業技術センター所長室にて—

ロンB, それと今お話に出たレアアースであるネオジウムNdとジスプロシウムDyでできています。ネオジウムNdについては中国以外からの入手の目途が立ちましたが、ジスプロシウムDyについては中国に偏在しているため、中国以外からの入手の目途が立っていません。このため、当社を含む中国以外の磁石メーカーでは、このジスプロシウムDyを使用しない磁石の研究開発にしのぎを削っています。既に、各社ともジスプロシウムDy使用量を大幅に減少させた磁石の開発と実用化に成功しており、その需要は大幅にダウンしました。今では、中国国内のジスプロシウムDyの供給能力過剰のため、価格が暴落し、中国政府が生産制限を行おうとしている状況です。

(吉野) 供給不安のあるレアアースの使用を大幅に削減、あるいは使用そのものを止めてしまおうということですね。強烈的な輸出コントロールを行ったことで、こんなにも早く需要そのものが減少してしまうとは、中国も当てが外れて、困っているようですね。

ところで、現時点でのこの磁石の一番の用途はなんでしょう。勿論、超強力な磁石ですからモーター類として高い性能でしょうし、小型化も進むでしょうから、電動機、発電機、その他、アクチュエーター、MRIなどの医療用などにたくさん使われているのではないかと思います。

(大久保) この磁石の一番の用途は、軽量化とエネルギー効率化が同時に要求されるハイブリッド自動車や電気自動車のモーターです。これ以外では、エアコンなどの家電品のモーター、さらには風力発電の発電機などでも大量に使用されています。

(吉野) 強磁性体の研究は歴史的にも日本がすごく先行して、本多光太郎先生を筆頭に東北大学で凄い仕事なされてきた伝統がありますよね。私が阪大にいてまだ若い頃近くに住友特殊金属があって、あそこで佐川さんが開発、実用化に成功したのが、この組成の磁石ですよ。今はこの住友特殊金属の磁性体部門も日立金属になっていますね。

(大久保) その通りです。現在では世界トップシェアとなっております。

(吉野) この超強磁性材料の他に日立金属さんアモルファス軟磁性体もやられていますでしょう。あれについても私は強い思いがありまして、本当はもっともっと国内で使われていい筈、使うべきと思っているんです。電力会社さんは特に福島原発の事故以来エネルギーの効率利用をもの凄く要請されているわけですから、一挙にアモルファス軟磁性体を使ったトランスを導入すべきだと思いますけど。現実にはむしろ活用の拡大が止まっていますよね。

(大久保) 先生はアモルファス軟磁性体のこともご存知ですか。実は私はこのアモルファス軟磁性体の事業を担当しております。

(吉野) ほんの一寸ですけど。私、電気電子材料が専門の一部でしたし、電気電子材料の授業も担当してたので磁性

材料を少し講義していました。それに電力関係のこともやっていたからアモルファス軟磁性体にももの凄く期待していたんです。

(大久保) 理解していただいている方があって大変嬉しいですね。同じアモルファスでも太陽電池に使われているアモルファス半導体をご存知の人に比べて、残念ながらアモルファス軟磁性体の知名度は、今一つではないでしょうか。まだまだ我々の努力不足でして、広くPRするように常日頃呼びかけています。

(吉野) 電気屋にとったら常識だと思いますよ。アモルファス金属は最初アメリカが先行したと思いますが、アモルファス磁性体が発明されてすごくいい性質が見つかったと聞いた時、すぐに実用化が進むのではと思ったんです。ところが、いろいろ課題もあって、電力業界がすぐに活用するようになっていないし、おそらくコストの問題などいろいろあるのかなと思っていました。私よりも大久保さんの方が専門ですから遥かによくご承知のところでしょうし、少しそのあたりの開発経緯から今日までのところ簡単にご紹介していただけませんか。差しさわりのない範囲で、本当は授業で話したと云ってもほんの原理的なところを知っている程度であまり詳しくはないんです。今日はお話している間に大分間違ったことを私云うかもしれませんが、丁度いいですので、私の記憶を直していただけると有り難いと思っています。そんなんで余計なことを質問、確認すると云う気持ちもあってしゃべるかもしれませんが、勘弁してください。恥ずかしい限りですけど。

(大久保) 私自身も、入社してからアモルファス事業に関係するようになったのは、だいぶ後のことで、その後、現在の立場になって、改めて勉強しているような状態ですので、アモルファスに関する先生のお話を是非お聞かせください。

(吉野) 私が少し知っているのは開発の当初のあたりのところだけなんです。たとえば、かつてアモルファス材料の研究開発が盛んに行われた当時、太陽電池にも繋がるアモルファス半導体とともにアモルファス磁性材料が非常に注目されました。要するに一種の超軟磁性材料で、変圧器のコアに最適な材料ですね。元のアモルファス金属の発明は確か米国の大学だったように思いますが、日本でも東北大学の増本先生でしたかね随分素晴らしいお仕事をされたようですね。

当初から日立金属さんもいいお仕事をなさったと聞いたことがあるように思いますが、本格的な開発が米国のアライドシグナル社で進み、途中日立金属さんと係争があったりもしましたよね。アモルファス変圧器の権利を確かGEから取得し中心となって事業を進めていたアライドシグナルの下の子メトグラス社が日立金属さんに買収され、世界での研究開発、製造が日立金属で進められたんですね。そのくらいの概略のところは聞いたことがありますけど、間違っ

ているかもしれませんが正しいところを教えてください。
 (大久保) 先生はアライドシグナルの会社名などまでよくご存知ですね。

(吉野) 偶然なんですよ。私の友人で高分子関係で有名なアメリカの研究者が二人アライドシグナル社の社員だったんです。BaughmanさんとZakhidovさんと云うんですが、本当は元々アライドケミカル社だったんですが、会社名がアライドシグナル社に変わって、その後ハネウェルを買収して合併し社名がハネウェルに変わったんですね。知らない人はアライドシグナル社がハネウェルに買収されたように思っている人が多いんですが、逆なんですね。アライドシグナルよりハネウェルの方が電子材料、デバイスなどでは有名だったので買収した側が、ビジネス上むしろいいと考えて買収した会社の名前を名乗ったんですね。その後一時期、GEと合併すると云う話があって私の友人いろんなことを話してくれていましたが結果的にはご破算になったんですね。メトグラス社はハネウェルの時買収したんですね。

(大久保) そうです。全体の流れはその通りと思いますが、補足させていただきますと、当社がアモルファス軟磁性材料の研究開発を始めたのは、今お話のありました東北大学の増本先生の研究成果を基に、産学官を挙げてこれを実用化しようということで1977年から1981年に実施された新技術開発事業団、これは現在科学技術振興機構に変わっていますが、ここが実施した「アモルファス電磁材料」の委託開発事業に参加したことに始まっています。この事業には、東北大学、それと企業としては、当社の他に日立製作所、パナソニック、それとソニーの4社が参加しまして、当社は、アモルファス軟磁性材料の製造技術の開発を担当しました。実は、この事業期間中に私は入社しております、世界最先端の研究開発をやっているのだということは、よく耳にしておりました。

この委託事業の成功認定を受け、当社はその研究成果を公表、いよいよ本格的にアモルファス軟磁性材料の事業化を本格化したところで、米国アライドシグナル社から同社の特許を侵害しているとして、法廷闘争に引き込まれることになりました。当時のアライドシグナル社の主張は、同社の特許に抵触しないでアモルファス軟磁性材料の製品化は困難ということであったようです。結局、最終的に日本側の主張が認められ、法廷闘争は全面勝訴となりましたが、3年の年月が費やされました。まさに昨日の敵は今日の友、現在では遅れを取り戻すべくアモルファス事業を協力推進しています。

アモルファス軟磁性材料の最大の用途はアモルファストラランスなのですが、米国で電力自由化の話が出てきて、米国の電力会社は目先の利益を優先するようになったため、これまで数十年と寿命の長いトランスでは、イニシャルコストは高くてもライフサイクルコストに優れると言って採

用してきたアモルファストラランスの採用をしなくなりました。2003年にハネウェル社から当社がアモルファス事業を買収することになりました。

(吉野) 確か日立金属でファインメット®と云うのを開発されたと聞いたことがあるんですが、あれはどんなんですか。

(大久保) ファインメットは、ナノ結晶軟磁性材料というジャンルの日立金属が世界に先駆けて発明、実用化した全く新しいタイプの金属磁性材料で、磁性材料の教科書にも記載される画期的な磁性材料です。ファインメットは、先ほどお話ししましたアライドシグナル社との法廷闘争での苦い経験の産物とも言える材料で、弊社の研究者が外部の特許に全く抵触しない材料を開発しようとして、発明に成功したものです。当時、アモルファス軟磁性材料の組成探索は、ほぼ終了しており、改良ではなく完全にオリジナルの組成の材料の開発は困難でした。

そこで、最も代表的なアモルファス軟磁性材料である鉄Feを主成分とし、これにシリコンSiとボロンBが加えられたアモルファス合金、この三元系のものが現在世界で最も大量に使用されていますが、これに銅Cuを微量加え、さらに第5の微量元素としていろいろな元素を加えたアモルファス合金の鑄造実験をひたすら繰り返すうちに、ニオブNbを加えると何とかアモルファス合金の鑄造ができたと聞いております。アモルファス合金は熱処理をして、磁気特性を引き出すのですが、この新しい組成のアモルファス合金の熱処理温度を何度にするかの実験を繰り返していた時に、通常のアモルファスでは考えられないような高い温度の熱処理で、これまでのアモルファス軟磁性材料では得られなかった極めて優れた磁気特性が得られることが分かったそうです。この原因は、何なのかを電子顕微鏡で観察してみたところ、粒径が十ナノメートル程度の均一な微細結晶の材料になっていて、これが磁気特性の改善に繋がったということのようです。このような均一な微細結晶ができるのに大きく寄与していたのが、皮肉なことに鉄Feに溶けずに分離するため磁性合金の世界ではこれまで嫌われ者だった銅Cuのおかげだったんですね。

日刊工業新聞社主催の第39回十大新製品賞(1997年度)を頂いております。

(吉野) アモルファス軟磁性材料の製造は素人が考えると高温に熱した原料合金材料を低温のロールかなんかに吹き付けて急冷しそれを連続的に巻き取るのかなと思いますが、それでいいんですか。もしそうであればどのくらいの速度で製造できるんですか。製造量はどのくらいですか。

(大久保) 基本的な製造方法は、先生のお話の通りです。アモルファス化するには、一秒間に百万℃という物凄い速さで溶けた金属を固めて、結晶構造を持たないようにしなくてはなりませんので、時速百キロメートルぐらいの速度で製造することがポイントです。幅が十ミリメートル程度

で一度の製造量が数kgの少量であれば、市販されている実験装置でも製造できますが、百ミリメートル幅を超えるものを安定に長時間連続製造するには非常に高度な技術とノウハウが必要となります。世界でこのような広幅のアモルファス軟磁性材料を連続的に工業生産しているのは、当社とその米国の子会社のMetglas, Inc., および一部中国の2社に限られています。これら各社の合計の製造量は、現時点で年間十数万トンレベルと推定しています。

(吉野) 主力のメトグラス安来工場での生産量はどのくらいですか。

(大久保) アモルファス軟磁性材料については、国内では当社安来工場敷地内にあるメトグラス安来工場で製造しています。Metglas, Inc. からの技術移管を行った一期工事が2006年暮れに完成し、2010年稼働の二期工事を経て、現在の公称製造能力は年間約六万トンで、おかげさまで、現在、高いレベルで稼働しています。

アメリカのサウスカロライナ州にあるMetglas, Inc. では、年間約四万トンが公称能力ですが、日米両拠点で切磋琢磨・協力しながら、特性・製造能力の改善を継続的に進めています。

尚、ファインメットは年産500トン程度です。

(吉野) 私が若い頃、いつ国内で実用化され広く活用されるかいろいろ議論した記憶もあります。もちろん現在日本でも一部は使われていますでしょうが、大分部のトランス類がこれに置き換わっていると聞いたことがないですね、恐らく従来のものが依然主流でありますでしょうね。損失の少なさからすると電力会社も当然順次アモルファス軟磁性材料を使ったトランスに置き換えるのを期待していましたが、福島原発の事故以来特に高効率の電力利用が叫ばれる中でもこれが積極的に使われようとしている形跡が感じられませんか。むしろ新しい技術導入より、経費削減と云う世間の目を気にするかのようによく置き換えは止まっているような感じがします。もちろん私が十分に実情を知らないためそう感じているだけのこともかもしれませんが、この時期こそむしろ積極的に置換すべきと思えますね。

なんと、世界的にみると中国、インド、東南アジア諸国を始めもの凄く比率での導入が始まっていると聞いていますが、肝心の日本での普及が最も低いそうですね。これはエネルギー利用の効率と云う問題だけでなく、国内の製造業を活性化させる支援としても非常に重要なんですけどね、残念ながら新しい材料技術と云う視点において鈍感と云うか意識的に避けている感がして仕方がありません。

かつて日本の電力機器等での高い品質、性能の要求が諸外国製品に対する非関税障壁として外国勢に見られ大きな外圧がかかったことがありますよね、ところが今は逆に、福島原発の事故を経緯に高品質、高性能、高能率に非常にネガティブな姿勢に転じてしまったような気がしますね。

電力業界には配電トランスなどにアモルファス軟磁性材

料をもっともっと使ってもらいたいと思いますが、本当を云うと私そんなにこの方面の専門に詳しくないので、定性的に感覚で云っているだけです。ぜひ大久保さんに少し量的なことも含めて教えてもらえませんか。

(大久保) 重量ベースでアモルファス軟磁性材料の90%以上はトランスに使用されています。このトランス用アモルファス軟磁性材料のエリア別のアモルファス磁性材の販売重量ベースでは、中国が半分以上を占めています。中国の次に販売重量が多いのは、米国にメキシコとカナダを加えた北米で、約15%です。インドも販売重量では全体の10%を超えておりまして、台湾、韓国、それと東南アジアを合わせた販売重量が全体の10%程度です。これに対し、残念ながら日本での販売重量は全体の約5%に留まっています。

(吉野) アモルファス軟磁性材料は軟磁性材料でヒステリシス損と渦電流損が非常に少ないので鉄損が非常に小さいですね。結果的にトランスの鉄心にしたときケイ素鋼板など従来の鉄心材料に比べて圧倒的にエネルギー損失が小さいんですね。それでトランスに都合がいいんですね。

(大久保) そうです。トランスのエネルギー損失は、トランスの出力に依存せず常に鉄心で一定量発生する待機電力に相当する鉄損と、トランスの出力に依存しその二乗に比例して増加する巻線で発生する銅損の二つからなります。アモルファストランスは、先生のお話のように鉄損、つまり待機電力が小さいということが最大の特長になります。トランスの電力容量は、先生ご承知のようにその出力の定格電圧と出力可能な最大電流の掛け算のボルトアンペアkVAで表されます。また、変圧器の出力を変圧器の出力容量で割った値を負荷率と呼んでいます。通常、トランスの容量は予想される最大出力に対し余裕を取って選ばれていまして、一般家庭に電力を供給している柱上トランスの場合、エアコンとテレビが一齐に動いている真夏の甲子園大会の決勝戦の時とかが最大出力に相当すると思いますが、この時の負荷率でも80%程度です。一年間を通じての平均出力はこの最大出力よりもずっと小さな値になり、柱上トランスの場合、年間の平均負荷率は15から20%程度とされています。また、オフィスビルや公共施設で使用される配電トランスの年間平均負荷率は約20%、これに対し工場で使用される配電トランスの年間平均負荷率は40%と報告されています。トランスの負荷率が低い場合には、この負荷率に対応する電流の二乗に比例して銅損が大幅に減少しますので、トランスの損失全体に占める鉄損の比率が上昇します。このため、鉄損の少ないアモルファストランスが省エネの観点から非常に有利となります。つまり、トランスの負荷率の小さな柱上トランス、オフィスビルや公共施設で使用される配電トランスには、アモルファストランスが非常に適しているんです。

(吉野) 損失の絶対量はどのくらいでしたかね。従来の材料を鉄心にしたものよりどのくらいいいですか。従来は方

向性電磁鋼板、ケイ素鋼板と云うのを使っていましたね。損失が具体的にはどのくらい少なくて、電力用、配電用トランスなどをすべてアモルファスを使ったトランスに変えた時どのくらいの電力の節約になるんですか。

(大久保) アモルファストランスと従来の方向性電磁鋼板トランスの本質的な違いは鉄損にありますので、この鉄損の差に注目してみましょう。アモルファストランスは、例えば、2005年に施行された現在のトップランナー規格に適合した方向性電磁鋼板トランスに比べて、その鉄損を約1/3に減らすことができます。日本国内ではトランスの平均寿命は約26年と報告されていますが、これよりも古いトランスも使用されており、古いトランスはその鉄損は現行のトップランナー品よりもかなり大きな値になります。

アモルファストランスの製造販売をしている日立産機システムさんのご協力を得て、国内の配電トランスを全量アモルファストランス化した時の鉄損総量の減少量を試算したところ、約百十二万kWにもなったんです。さらに電気事業連合会が公表している統計データを基に、電力会社で使用している配電トランスについても同様の試算を行ったところ、全量アモルファストランス化による無負荷損の減少量は約七十九万kWになりました。したがって、国内の配電トランスを全てアモルファストランス化した時の電力の節約量は、約百九十一万kWと試算され、おおよそ百万kW級の発電設備二基分に相当する節約ができることとなります。CO₂排出量に直すと、日本国内総排出量の約0.6%が削減されると計算しています。

(吉野) こんないい材料の開発や実用化が最初日本を中心に進められたわけですが、それなのに日本ではその後あまり実用化が進んでいませんですね、配電トランス用としては、中国、インドなどと比べて、大体ふつうは日本が高性能のものを真っ先に実用化して使って、後追いのように中国などが進めると云うのが普通ですが、アモルファストランスは全く違って使用するという点で見ると日本がものすごく遅れていますね。具体的に日本に比べて諸外国はどうですか。

(大久保) 世界中で最もアモルファストランスの導入に積極的なのは中国で、中国には世界で唯一アモルファストランスの公式な工業規格があるんです。この背景には、慢性的な電力不足と環境問題があるのですが、2010年から中国の国営企業がトランス用アモルファス軟磁性材料の供給を開始したため、国内調達ができるようになったことも影響していると思います。シェアのほとんどを握る国営の電力会社2社が購入している配電トランスに占めるアモルファストランスの採用率は今年約40%、来年には50%以上にすると公式に発表していることから、中国では国家を上げてアモルファストランスの導入を積極的に進めようとする姿勢が明確に示されていると思います。米国では2003年にアモルファストランスの採用がゼロになりましたが、

エネルギー省(DOE)がトランスのエネルギー効率を厳しくした規格を定め、これが2010年に施行されました。この規格レベルは、日本のトランスのトップランナー規格よりもかなり厳しいんです。しかも、日本のトップランナー規格には強制力はありませんが、このDOE規格は強制力があることもあり、この規格の施行によりアモルファストランスの採用が復活しました。DOEは、更に厳しいトランスのエネルギー効率に関する強制力を持った規格を公表しており、これを2016年から施行することを決定していますので、米国におけるアモルファストランスの需要はさらに伸びると思います。

また、インド、ASEAN諸国ははじめとするこれら新興国でも、電力不足ということもあり、高効率のアモルファストランスの導入には前向きであり、需要はさらに伸びてくるものと考えています。

(吉野) 恐らく特に震災後は、新しい試みを始めたり、進めたりするとコストがかかるので、アモルファストランスは特に初期コストが大きいので、原発事故以来余計なところに金をかけられない、と云う事情があるのかもしれないね。

(大久保) そうかもしれません。

(吉野) かつて電力業界では高電圧機器などで日本が極めて高い性能を条件にしていたため、外国からの輸入が不可能で、これを米国などは非関税障壁で怪しからんと大きな声で日本政府に抗議してきたんですね。結局日本が弱気でそれに折れてスペックを落としたんですね。これで一挙に輸入が増えて逆に二重投資できない日本の重電機メーカーは随分業績が落ちましたね。もともと日本の重電機メーカーは非常に性能、信頼性の高いものを作っていたんで、外国は入ってこれなかったんですね。電力会社も信頼性が高く安全な電力を確実に供給する義務があるということで高いスペックを設定していたんです。それが急にもっと性能の低い、安全率の低いものでいいと云われても、そんな機器を製作するには新たな大きな投資をして工場を作り直さないといけないわけでそんなこと簡単にできないんですね。今のアモルファス軟磁性材料の場合は全く逆で、中国などの諸外国で高いスペックが要求され、逆に国内ではずいぶん低いスペックでもOKと云う立場を日本はとっているんですね。逆ですよ、日本もレベルを上げて積極的にアモルファストランスの普及を進めるべきなんですね。

(大久保) そうあってほしいと考えています。

総じて論じるなら日本は対GDP比のエネルギー消費量は世界最小の省エネルギー国家で、世界に誇れる素晴らしいことだと思います。実は数年前にあらためてトランスの規格推移を調べ直してみたら、各国のレベルに気が付いて意外に感じ、少々驚きました。

この省エネルギー国家日本で、アモルファス軟磁性材料を用いたトランスがまだまだ省エネルギー・CO₂削減に貢

献できる余地があることを強く再認識したものです。

(吉野) 電力業界は福島原発事故後本当に委縮してしまっていて、長期的視点から当然今非常に大事に進めるべきことを経費が掛かるという理由で手を引いてやめてしまっていることが多いのですが、その典型的な例なんですね。是非、積極的に柱上トランス、それとオフィスや公共設備などで使用されるトランスをアモルファスタイプに置換することを至急進めるべきですね。

(大久保) 実はアモルファストランスは、スーパー301条という1988年に施行されたアメリカ合衆国の「包括通商・競争力強化法」の対象品目となり、1990年代に相当数が採用されました。当時のアモルファス材は非常に高価で、さらに騒音・サイズ的な問題・取扱いしづらいこともあってあまり良く受け入れられたものではなかったようです。現在の当社グループのアモルファス軟磁性材料は、成分の変更や製造方法の改善等によって、省エネルギー特性は勿論ですが、扱いやすさ、コストも大きく改善されており、捲土重来を期しているところです。トランスメーカー様にも、『是非現在のアモルファス材をお試し頂きたい!』ということで、半製品であるコアまで加工する工場を、今年大阪・豊中に設けました。

(吉野) そうすることで産業界、特に日立金属さんのようなアモルファス軟磁性材料をやっている会社の製造も盛んになって出荷も増え調子が上がって、日本産業を押し上げることに繋がっていいですね。何しろ日立金属のアモルファス軟磁性材料は島根のメトグラス安来工場で中心になって製造されていますから、非常にありがたいことになるんですね。

(大久保) アモルファス軟磁性材料は開発されてからまだ40年、トランスに応用されてから20年の非常に新しい材料です。元を辿れば1000年以上の歴史のあるヤスキハガネと比較するとひよっこですが、それだけにこれから新しい用途・最適鋼種設計などにチャレンジすることによって成長が期待されると思いますし、そうあらねばならないと考えています。

メトグラスの先進性、イノベーション力と日本のモノづくり力、つまり日米の力を融合して行くことでさらに強化できることも確認しました。有形無形のハガネ造りの力が蓄積しているこの島根県・安来地区でこそ、今後の展開が可能であると確信しています。

(吉野) 大久保さん今日は本当にありがとございました。何か勇気をあらためて貰ったような気がします。是非ともアモルファス軟磁性材料をどんどんトランスに使って電力の利用効率を上げていくように、いろんなところに働きかけていきたいと云う気持ちが強くなってきました。なんか若返ったような気がします。

日立金属さんの大事な拠点の一つは島根県ですが、もちろんグローバル企業ですし、正直言って世界中を視野に開

発、製造、ビジネスを考えられておられるわけですから、主力生産拠点を島根県から移される可能性がないとは言えないのではないかと思います。絶対にそうやって欲しくないですし、そうならないことを確信していますし、島根にしっかりと引き続き根をおろして、さらに充実して貰って島根が世界の拠点になるようにぜひ頑張ってもらいたいと思っています。そうしてもらうためにも島根県はもっともっと日立金属さんに協力、大変失礼な言い方ですが、時にはご支援をする必要がありますね。我々島根県産業技術センターも精一杯出来る限りの研究、開発に関してご協力したいと思っていますので、何なりとご要望を投げかけていただければと思っています。

引き続きよろしくお願いいたします。

(大久保) 有難うございました。当社もご指摘のようにグローバル企業として、ワールドワイドでの適地適産を進めてきています。アモルファス軟磁性材料事業については、そのベースとなる基盤技術の開発と革新が国内で継続して行われている先端材料であり、今後もこの島根県が主力の生産拠点であり続ける事業であると認識しています。一般にはなじみの少ないアモルファス軟磁性材料ですが、吉野所長には深くご理解を頂き、大変心強くありがたく思います。今後とも何卒よろしくお願いいたします。

(吉野) あっ、忘れかけていましたが、もう少し聞きたいことがありました。

最近では製造して活用した後の処理、資源としての再利用などがどんなものでも課題になりますが、アモルファス金属、磁性体ではどうでしょう。

トランス用として利用したアモルファス金属の回収、再利用に関して何か進展があったと聞いていますがどうなんですか、私余り新聞を読まないちなんでもよく知らないんですが、うちの島根県産業技術センターと関わりのある株式会社 コダマさんとも何か連携なさったとかの話を伺ったことがあります。

(大久保) アモルファス軟磁性材料の原料は、既に説明させていただきましたように鉄Fe、シリコンSiそれとボロンBです。この内のボロンBは、一般的な鉄鋼原料としては不純物であり、通常のスラップとしてのリサイクルは難しいと言われていています。国内では、アモルファストランスが使用され始めてから20年を超えてきており、その廃却が開始され始めました。このタイミングに合わせて、当社で廃却されたアモルファストランスから解体時に取り出されるアモルファス鉄心を有価物として引き取り、アモルファス軟磁性合金に直接投入可能な原料として活用しようということになりました。コダマさんには、その工場内に世界初のアモルファス鉄心リサイクル工場を設置させて頂きまして、今年の4月からリサイクル作業をお願いしております。

製品のリサイクルはメーカーの責任でもあり、今後も徹

底して取り組みます。廃却されたアモルファス鉄心のアモルファス軟磁性材料へのリサイクル率は、ほぼ100%です。

(吉野) それとも一つ関心があることがあります。実は最近の方は習わないと思いますが、私大学生、確か3年生の時桜井良文教授と云う先生から面白い講義を受けたんです。刺激的だったんで忘れられないですね。後で原子力学科に移籍され、いろいろなことをやられた有名な先生ですが、実は元のご専門は磁気材料でその後日本磁気学会の会長や大阪工業大学の学長もやられた方です。次のような話だったんです。

第二次世界大戦の時、ドイツがロケット開発に成功しV2ロケットをロンドンに大陸側からたくさん打ち込むんですね。それも結構正確で、着弾しても不発だったロケットをイギリス側が分解しても真空管が入っていないくて、一体なんでロケットの軌道などを制御しているか訳が分からなかったそうです。あるのは金属片と針金がクルクル巻いてあるだけなんです。戦後になるまではっきり原理が分からなかったそうです。後からそれが磁気増幅器を使っていたということが明らかになるんですね。我々が学生の時習った電子デバイスは真空管をつかったものでした、その後半導体工学が進歩してシリコンなどの半導体ダイオードやトランジスタなど固体の電子素子が開発され非常に高性能、小型化が実現し現在の携帯機器などの発展にもつながるんですね。

ところがドイツが考えついたのは物質の磁氣的性質を利用することなんです。具体的には磁界と磁束の関係、いわゆる磁気ヒステリシスと云うものの性質を上手に使うと、信号の増幅とか、交流の整流とかいろんなスイッチング機能と云うのができることを見出してそれで素晴らしい磁気回路を実現していたわけです。真空管ですとソケットに差し込んであるし、たくさん電力がいるし、ロケットのような打ち上げ時の衝撃などで安定に性能を発揮させるのが容易じゃないですが、この磁気回路であればそれらの問題がないわけで、凄いことを考えたものです。

私、現在日立さんなどががんばって素晴らしい磁性材料が開発され、特徴的なヒステリシス、素晴らしい特性を持ったヒステリシス材料などが実現されていますから、これを用いるとかつての磁気回路の考え方がいろんなところで生き返り、新しい武器を与えられ、凄い展開が始まってもしような気がしているんです。温故知新ですね。もしかしたら少し使われ始めているんじゃないですかね。大久保さんのところは材料を供給される立場ですからそういう情報も入っているのではないですか。簡単に考えてもインバーターなどいろんなところにまず小型のものが活用できるように思うんですが。

(大久保) 実は、当社が最初に製品化したアモルファス軟磁性材料を使用した部品は、先生が今お話になった磁気増幅器用の鉄心なんです。駆動周波数が数十キロヘルツから

数百キロヘルツのスイッチング電源やインバーターでも使用できる鉄損の小さなアモルファス軟磁性材料の実用化で、磁気増幅器が見直されたのです。鉄Feの代わりに高価なコバルトCoを主原料としたさらに低鉄損のアモルファス軟磁性材料が主流でしたが、より低コストのファインメットが発明されてからは、こちらが主流になっています。数は多いのですが、何分にも数グラムから数十グラム程度の小さな部品ですので、重量ベースではわずかなものです。この他にもインバーターに使用される高周波トランス、高調波フィルタ用のリアクトル、あるいはノイズフィルタ用の鉄心にも使われていますが、先生がご指摘のようにアモルファス軟磁性材料やファインメットの優れた特性を活用した新しい用途がもっと生まれてきてもよいように思います。アモルファスは高効率モーターにも採用が検討されていますし、電気自動車の弱点を補完できる非接触給電用途にも期待しているところです。

(吉野) 今日はお会いして本当に有り難かったです。私の思いと全く同じお考えであることを知りましたし、次にいろんなことが一緒に取り掛かることができそうなことが分かりましたので、これからが楽しみです。

ところで私同じ松江高校へ通学したんですが、生まれが玉湯村でしたから玉造温泉駅から汽車で通ってしまして、家に帰ると田舎生活でした。何度か高校三年の時の模擬試験忘れて魚取りしていたんですよ。まあ宍道湖と川にはまっているようなもので、魚取りに明け暮れていましたね、それで子供ながらに魚の習性や水辺の時間、季節による変化を熟知していましたし、よく魚をとれるようにいろいろ子供ながら知恵を働かしましたね。子供にとったらあれもとても良かったように思います。今の子供達にもあんな環境に戻して自然に接させたいですね。大久保さんは松江の生まれで私と違うかも知れないですが、子供の頃の様子はどうでしたか、いろんな方の生まれ育ったところでの状況を聞くのが好きなんです。

(大久保) 本当にありがとうございます。先生とお近づきになれて嬉しかったです。これからもよろしく願います。

私はお城のすぐ西に家があり、子供のころは先生と同じように堀や宍道湖で魚釣ったり、城山等で自然に親しみながらいろんなことを学んだ気がします。友達たちと際限なく遊んでいたようで、堀のドブにさしたまま何本も傘を忘れては呆れられていたそうです。どこでも水面を見ると未だに魚影を求めて覗き込み、今では家内に呆れられています。外遊びの他、模型を作ったりすることも好きでした。

最近になって母が小学校低学年時の通信簿をくれましたが、『学校に道具を持って来てはいけなことが分からないようである。』と先生の評が書かれていました。階段の手すりを鉈がけたことうっすら覚えています。怒られた覚えはありませんが(笑)

先生方もおらかだったのでしょう。

(吉野) そうですか、田舎と町と云っても少しの違いはありますが、よく似ていますね。

大久保さんお家が松江でここに近いですから、どうぞ遠慮なく頻繁にご訪問ください。楽しい話もできるし、前途が明るくなる感じがします。これから良い共同研究開発もできるように思います。どうも有難うございました。

【附 記】

○磁性体

磁性体として最もよく知られているのが永久磁石、いわゆる磁石と呼ばれているもので釘のように鉄などからできているものを引き付けることで知られている。これはこの磁石の周りに磁界が生じているからである。磁石は両端にN極とS極があり、二つの磁石を持ってくるとNとSは引き合うが、NとN、SとSのように同じものは反発することも知られている。鉄の釘が磁石に引き付けられるのは、もともとNとSが現れていなかった鉄釘の中にこの磁界の作用によって磁気分極と云うものが起こり、極めて小さなNとSに分かれた部分、極小の磁石がたくさんできて結果的に元の磁石のたとえばN極の近くの側の部分には釘の中での磁気分極の結果小さなSができ、これがNと引き合うため引き寄せられるのである。簡単に云うとそう云うことである。

一方、電流と磁性は関係があることが知られている。たとえば銅線でコイルを巻き電流を流すとそのコイルの中の空間に磁束が発生しこれがコイルの外部に磁石と同じように磁界を発生するからであり、コイルは磁石と同じような働きを生じ鉄釘を引き付ける作用をする。このときコイルの中に鉄の棒を入れておくと外部の磁界が強くなり釘を引き付ける力が強くなる。これは鉄の棒を入れたことでその中の磁束が大きくなり、鉄心入りのコイルの磁界を発生する作用が強くなるからである。この時磁束が空芯の時に比べてどのくらい大きくなったかの比率が透磁率と呼ばれる。

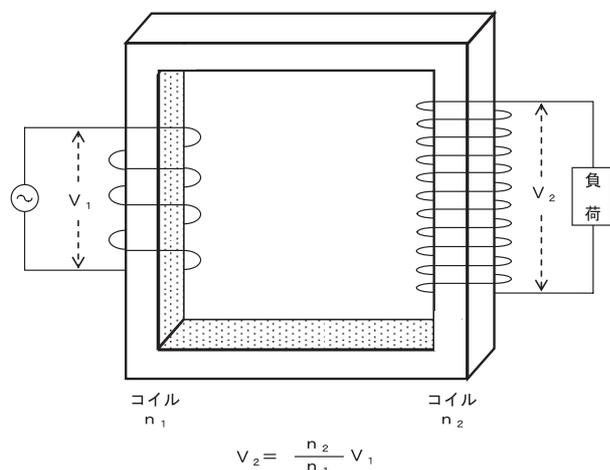


図1 トランスの構造と原理

鉄ではこれが500くらいである。これで電磁石の場合が理解されたと思う。

トランスではコアと呼ばれる周回状、閉じた構造のもの的一方にある巻き数のコイルを巻き電流を流すとその巻き数と電流に応じた磁束がコアの中に生ずる。その磁束が反対側のコアの部分を通るが、ここのコアにあらかじめコイルを巻いておくとその磁束とコイルの巻き数に応じた電圧が発生する。これがトランスの原理であり、巻き数比に対応する比率で電流、電圧が大きくなったり、小さくなったりするのである。

この例のように電流と磁束、磁界は関係があり、これらの学問をまとめたものが電磁気学、あるいは電気磁気学と呼ばれる。ここで説明した磁界はH、磁束はBと通常記される。本対談で述べたアモルファス、希土類超強磁性材料を理解するにはこれらを用いて説明されるのである。

○磁気ヒステリシス

磁性材料に外部から磁界Hをかけた時その材料の中に生じる磁束Bがどうなるかを表すのが磁気ヒステリシスと呼ばれる。まず全く磁界を印加されたことのない初期材料に磁界を外部から印加するとすぐに磁束が大きくなっていくものと、しばらく磁束が大きくなる程度以上の磁界を加えた時急激に磁束が大きくなる場合がある。やがてさらに磁界を強めても磁束はある程度以上大きくならず飽和する。これは飽和磁束と呼ばれる。そこに到達した材料に印加する磁界を弱めてもほとんど磁束が減少せず磁界がゼロになっても磁束が残ることがあり、その磁束を残留磁束と呼ぶ。更に逆方向の磁界を印加し続けるとある磁界以上になって突然急激に磁束が低下する。この磁界Hと磁束Bの関係を図示したものがB-H曲線、B-Hカーブと呼ばれ、BとHの間が単純な依存性でなく図に示すように行きと帰りで異なったものとなるのが磁気ヒステリシスである。

材料によってこのヒステリシスカーブの幅が非常に小さ

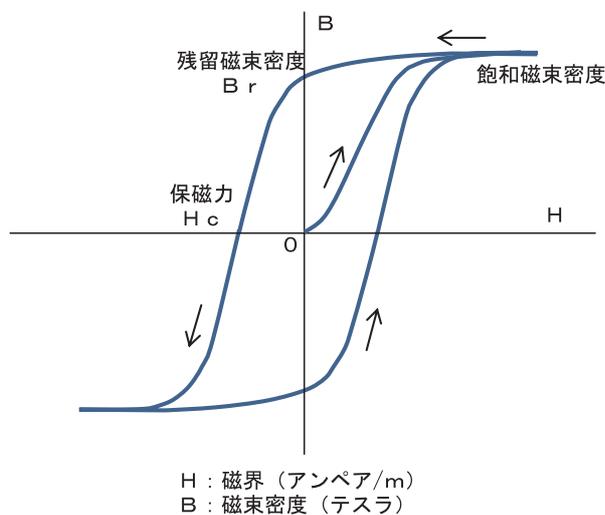


図2 磁気ヒステリシスカーブ

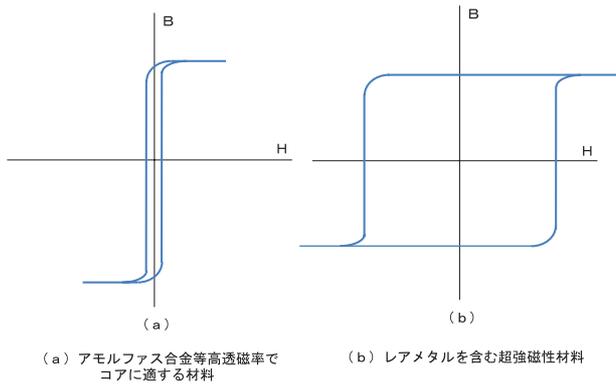


図3 ヒステリシスカープの2タイプ (高透磁材料と高保磁力材料)

いものと、非常に広いものがある。その面積がそのような材料をトランスに用いた場合に生ずるエネルギー損失、いわゆる鉄損と云われるものである。従って、幅の小さいものが透磁率が大きく鉄損が小さいことになる。また幅の大きなものが高保磁力材料と呼ぶ。一旦閾値以上の磁界を印加すると磁界を取り除いてもその物質は外部に強い磁気的影響を及ぼしいわゆる永久磁石となる。

○高透磁率材料

磁束を通す磁心材料として用いられるものであり、磁気ヒステリシス曲線の幅が極めて小さく磁界による磁束の増加が急速に上がるものが優れている。その傾きが透磁率と呼ばれる。高透磁率材料としては鉄系材料に微量のシリコンなどが加えられたケイ素鋼板がよく用いられてきた。特に磁束は特定の方向に通るのでそれに最適な方向に性質が揃うように構造が制御された一方向性ケイ素鋼板が多用されてきた。しかしアモルファス材料が出現しこの方面に画期的な進歩をもたらした。トランス、いわゆるトランスの磁心材料など多方面に利用され、特に鉄損と呼ばれる損失が大きく低下することとなった。透磁率の大きな磁心材料を使うとトランスが大きく小型化ができるし、鉄損と呼ばれるエネルギー損失が大幅に減少する。

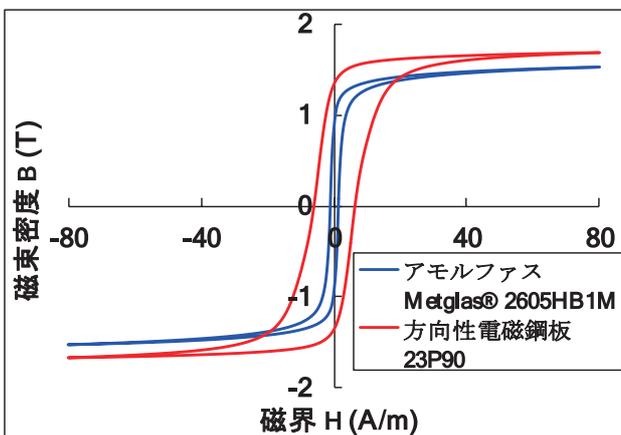


図4 高透磁率材料のB-H曲線

○高保磁力材料

高保磁力材料はいわゆる永久磁石として外部に強力な磁界を安定して発生する材料である。磁気ヒステリシスの形が大きな角形を示すものであり、材料に大きな外部磁界を印加すると磁化が進み、外部磁界を取り除いてしまっても大きく磁化された状態がそのまま残り、外部に強い磁界を発生し続ける。鉄系材料に希土類などの様々な原子を加え、適切な熱処理などのプロセスを加えることで実現される。特に日立金属で開発されたネオジ鉄ボロン磁石は極めて強い磁界を発生する世界最強の磁石と云える。このような極めて高い高保磁力材料が開発されたことから、それらはモーター、発電機、アクチュエーター、医療用機器などに画期的な性能向上、進歩をもたらし、小型化も可能にした。



写真1 産業用アモルファストランス (株式会社日立産機システム提供)



写真2 アモルファス柱上トランス (東京電力株式会社提供)

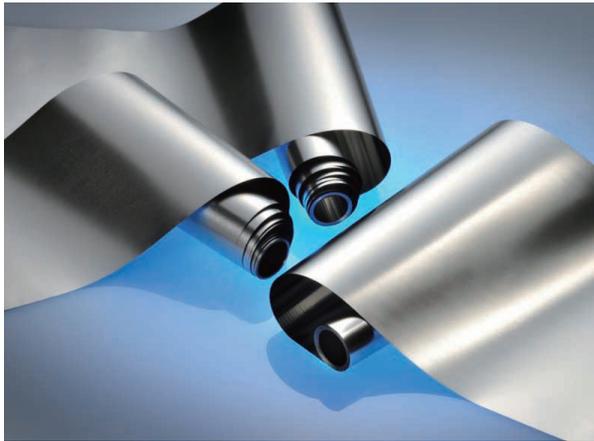


写真3 アモルファス軟磁性材料
(日立金属株式会社提供)



写真4 トランス用アモルファス鉄心
(日立金属株式会社提供)

対談者略歴

【大久保由紀夫】

昭和30年1月4日島根県松江市生まれ，松江北高等学校，
大阪大学工学部機械工学科卒。

昭和53年 日立金属株式会社に入社，同年 熊谷機装工
場配属，平成4年安来工場に転勤 帯鋼工場，磨鋼工場，

生産技術部を経て，平成12年帯鋼工場副長，平成16年生産
技術部長，平成18年本社直轄Fプロジェクト主幹，平成23
年メトグラス安来工場工場長。

平成24年 理事・軟磁性材料事業部長，メトグラス安来工
場工場長，Metglas, Inc. CEO.

モットー：Save the Earth with Amorphous !

【吉野勝美】

昭和16年12月10日島根県八束郡玉湯町生れ。松江高等学
校，大阪大学工学部電気工学科，同大学院を経て，昭和44
年大阪大学に勤務。昭和63年大阪大学工学部電子工学科教
授。その後大阪大学大学院工学研究科教授に配置換え，東
北大学大学院工学研究科電子工学専攻教授併任，平成16年
大阪大学名誉教授。その間，ベルリン，ハーンマイトナー
原子核研究所客員研究員。工学博士。電気学会副会長，日
本液晶学会会長など歴任し，多数の国際会議の議長，役員
などを務める。

現在 島根県産業技術センター所長を務めるかたわら，
島根大学客員教授，大阪大学招聘教授，長崎総合科学大学
客員教授，関西電気保安協会理事，電気材料技術懇談会会
長，経産省中国地域太陽電池フォーラム座長なども務める。
論文1300篇を超え，多数の著書があるものの，生涯研究者
をモットーに電気電子に関わらず広い分野の課題，自然に
関わる課題に関心を持っている。

Note added in proof

本対談でも取り上げられている日立金属株式会社の開発
した「高効率変圧器用高Bsアモルファス合金Metglas 2605
HB1M」が第56回「十大新製品賞本賞」(2013年)に選定
され，表彰された。

本賞はその年に開発，実用化した新製品の中から，モノ
づくり産業の発展や日本の国際競争力強化に資する製品を
日刊工業新聞社が選定し，表彰する制度。