



東北大学 金属材料研究所 附属 新素材共同研究開発センター

News Letter

Nov. 2023 / Vol. 22

Topics

- 最近の研究 / 「ハーフメタル型電子状態を有する完全補償型フェリ磁性体の新規物質探索」
教授 梅津 理恵
- 第17回 共同利用研究課題最優秀賞 / 受賞者からの寄稿
- 装置の紹介 / 高圧ガス噴霧装置 RQP1 助教 佐藤 充孝
- 退職の御挨拶 / 准教授 千星 聡
- お知らせ / 2024年度 共同利用研究 公募のご案内
NHK 四大化計画エンドロールにて放映 教授 正橋 直哉

巻頭言

「重厚な伝統と思い切った変革と」

センター長 加藤 秀実

我が国の低調化する大学研究の再活性化を目的として、文科省は10兆円規模の大学ファンドの運用益を、最長25年間にわたって特定大学に助成し、世界最高水準の研究大学に押し上げる「国際卓越研究大学」制度を設け、本学が初めての認定候補となりました。世界トップクラスの研究者の獲得、若手の自立育成の他、研究時間の確保や知的資源の価値化等が具体内容として謳われています。金研は部門に基づく“親方制”を、その誇るべき特徴の一つとして掲げてきました。材料科学は、裸一貫でも、頭脳があれば研究が進む分野では必ずしもありません。材料作製には伝承されたノウ・ハウを使い、その解析・分析には高額で最先端の装置群とそれらを使いこなす揺るぎない知見・技術が必要であって、若手はむしろ親方が中心となって整えた環境で効率よく実力を伸ばした面も否めません。とはいえ、重厚な金研のような部局ほど、伝統を無批判に残しがちであることに気を付けておくべきです。残すべきは堅持し、時代遅れのものは大胆に変えるとしたバランスの取れた変革を、みんなで検討し、先陣を切って国際卓越研究所になるべく舵を切る時が来たのでしょうか。

「ハーフメタル型電子状態を有する 完全補償型フェリ磁性体の新規物質探索」

梅津 理恵 (Rie Umetsu)

【所属】新素材共同研究開発センター/ 教授

【専門】磁気物性、金属材料



スピン分極率100%の磁性体

ハーフメタル磁性体は、その電子状態において片側のスピンバンドがフェルミ面近傍にギャップを形成していることから、スピン分極率が100%となる物質群です。片方のスピン量子化軸を有する電子のみがその電子輸送特性に関与することになり、そのような磁性体は、電子が持つ電荷とスピンの両方を制御するスピントロニクス分野において非常に有効です。予てから、強磁性体については盛んに研究されてきましたが、近年はフェリ磁性体が注目されています。なかでも、ある温度（磁化補償温度、 T_{comp} ）にて磁化の値が完全に相殺されるような完全補償型フェリ磁性体（FCFM：Fully-Compensated Ferrimagnets）に興味もたれていることから、ハーフメタル型電子状態を有するFCFMの新規物質の探索を行っています。

第一原理計算によるハーフメタル型FCFMの予言

ハーフメタル型強磁性体の存在は、1980年代より理論計算により示唆されており、Co基ホイスラー合金を中心に巨大磁気抵抗効果やトンネル磁気抵抗効果を示す多層膜構造素子の電極材料として研究が展開されています。ハーフメタル型FCFMも1990年代から第一原理計算より候補物質が提案されているものの、実験的には具体的な報告例がありませんでした。2017年と2019年に、ようやく4元系ホイスラー合金において2例報告がありました[1,2]。我々の研究グループは、理論計算による提案をもとにNiAs型結晶構造を有する遷移金属カルコゲナイド化合物に着眼し、物質探索を始めました。そして、(Cr,Fe)S化合物において高温から急冷して得た非平衡相がNiAs型結晶構造を有することを確認しました[3]。

NiAs型結晶構造を有する(Cr,Fe)S化合物の磁気特性

図1(a)に1050°Cにおいて固相化熱処理を施し、その温度より急冷して得た(Cr,Fe)SのX線回折(XRD)パターンを示します。950°C以下の温度からの急冷では単相は得られず、また、1150°Cの熱処理ではSの組成が仕込み組成

より大きくずれるため、その温度が最適であると結論付けられました。XRDパターンはNiAs型の結晶構造として指数がつけられ、リートベルド法により精密化した格子状数は $a = 0.3446$, $c = 0.5726$ nmでした。試料組成も予め最適化され、 $Cr_{25}Fe_{25}S_{50}$ の化学両論組成では単相が得られず、むしろ $Cr_{23}Fe_{23}S_{54}$ のSリッチ組成で単相が得られました。図1(b)と(c)はXRD強度のシミュレーション結果で、それぞれ、過剰なSがCrやFeサイトに置換された場合と、そのサイトに空孔が導入された場合を仮定したものです。100と101、102反射強度を比べてみると、(c)の方が実験で得られた回折強度 (a) をより再現していることが分かります。

図2に得られた試料の磁化の温度依存性を示します。図から明らかなように、約200 Kに T_{comp} を有するフェリ磁性体、すなわちFCFMであることが判明しました。内挿図は5 K, 200 K, 300 Kで測定を行った磁化曲線を示します。5 Kにおいて32 kOeもの大きな保磁力を有し、 T_{comp} 付近では反強磁性体と同様な直線的な磁化曲線を示しています。

NiAs型(Cr,Fe)S化合物の電子状態密度

化学両論組成の $Cr_{25}Fe_{25}S_{50}$ がスピン分極率100%のハーフメタル型電子状態を有することは理論で予測されていましたが、本実験ではその組成よりSリッチ組成で単相が得られました。XRDの解析結果をもとに、Cr, Feサイトに空孔を有する非化学量組成にてCPA (Coherent Potential Approximation)を導入して計算を行った電子状態密度を図3に示します。この場合においても高いスピン分極率を有することが示され、本化合物がハーフメタル型FCFMであることが示唆されます。世界で3例目、ホイスラー合金以外では初めての候補物質の報告であり[3]、電子輸送特性の調査や関連物質においてさらなる候補物質の探索を行っているところです。

- [1] R. Stinshoff et al., AIP Advances, 7, 105009 (2017)
- [2] P.V. Midhunlal et al., J. Mag. Mag. Mat., 489, 165298 (2019)
- [3] S. Semboshi, R.Y. Umetsu et al., Sci. Rep., 12, 10687 (2022)

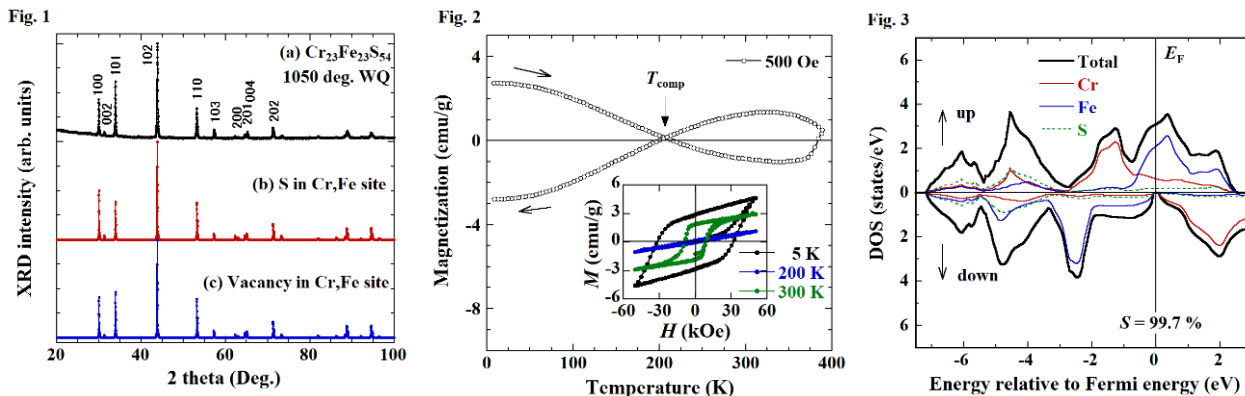


図1. 1050°Cから急冷して得た $Cr_{23}Fe_{23}S_{54}$ 化合物のXRDパターンと計算強度。図2. 500 Oeの磁場中で測定した磁化の温度依存性（挿入図は同じ試料の磁化曲線）。図3. 非化学両論組成 $Cr_{23}Fe_{23}S_{54}$ 化合物の電子状態密度。空孔がCr, Feサイトに導入された結晶モデルを仮定。

「磁性粒子－絶縁体ナノグラニューラー薄膜の作製および構造と特性に関する研究」
 東北大学 学際科学フロンティア研究所 教授 増本 博

この度は、長い歴史を持つ新素材共同研究開発センターの共同利用研究課題最優秀賞を賜り大変光栄に存じます。従来トンネル磁気抵抗効果や磁気誘電効果を発現する膜は、磁性金属ナノ粒子をセラミックス絶縁体中に分散させますが、本研究では有機化合物絶縁体中に分散させても特性が発現できることを初めて見出しました。これも本開発センターの多段制御化学気相析出装置による低温処理や、X線光電子分光分析装置による詳細なナノ組成分析と討論のおかげです。本受賞を、さらに精進せよ！という励ましと捉え、一層研究に努める所存です。今後とも、ご支援を賜ります様宜しくお願い申し上げます。



「小惑星探査機はやぶさ2が回収したサンプルの
 鉱物化学的研究によるC型小惑星の形成過程の解明」
 理学研究科・地学専攻 教授 中村 智樹

探査機「はやぶさ2」は小惑星リュウグウの赤道域に2回短時間の着陸運用を行い、5.4gのサンプルを地球に持ち帰りました。私の研究グループはサンプルの初期分析を担当し、物質科学的（化学組成、鉱物分析、物性分析など）な分析を行いました。その結果、小惑星リュウグウは太陽系形成直後に、太陽から遠く離れた-200°C以下の低温領域で、水やCO₂の氷と有機物、岩石粒子が集合することで形成され、その後、天体内部で氷が溶け、約50°C程度で水岩石反応が進行し、様々な化学進化、鉱物変化が起こっていたことがわかりました。鉱物化学分析で金研の電子顕微鏡を利用させていただきました。



装置の紹介

高圧ガス噴霧装置 RQP1

当センターでは、2022年10月に小型ガスアトマイズ装置(株式会社真壁技研製)を新設いたしました。

ガスアトマイズ法は熔融金属に対してAr等の不活性ガスを高圧で噴射することで、表面が清浄で流動性の高い微細な球状粉末を作製することができます。そのため、金属冶金や積層造形分野における原料作製法として近年関心が高まっている粉末作製手法の一つです。

溶解量はFe換算で200gと小規模ですが、従来装置と比べて高出力化されているため高融点金属材料の粉末作製が可能となり、幅広い粉末材料の研究開発にフットワーク良く対応することが可能です。

ご入用がありましたら、装置担当（佐藤）までお問い合わせくださいますようお願いいたします。

(助教 佐藤 充孝)

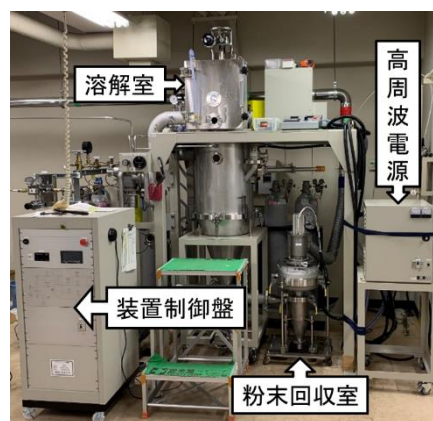


図. ガスアトマイズ装置(真壁技研, RRQP1)

ガスアトマイズ装置 主な仕様

使用ガス	Ar, N ₂ , O ₂ および混合ガス
高周波出力	10 kW (~ 1600°C)
ノズル	石英ガラス、アルミナ、カーボン
溶解量	200 g (Fe換算)

退職の御挨拶

新素材共同研究開発センター 准教授 千星 聡

2017年4月から新素材共同研究開発センターでお世話になりましたが、本年10月1日付けで島根大学材料エネルギー学部へ異動することとなりました。これまで6年半の間では、本センターでは多くの方々と共同で数々の課題に取り組む機会を戴きました。分野や世代を超えた皆様との交流は私にとって非常に貴重なものであり、学びと成長の機会となりました。皆様のご指導やご協力、ご支援に心より感謝申し上げます。

島根大学で新たな挑戦が始まりますが、本センターでの経験を大切にし、より一層研究、教育に励んでいく所存です。改めて、お世話になりました皆様に深く感謝申し上げます。有難うございました。



お知らせ

■ 2024年度 共同利用研究 公募のご案内

現在、年に4回公募を行っており、2024年度最初の公募は2023年11月から12月にかけて行われます。詳細は、共同利用webシステムページをご覧ください。

お問い合わせ先：金属材料研究所 総務課研究協力係

TEL. 022-215-2183 imr-kenkyo@grp.tohoku.ac.jp

新素材共同研究開発センター事務室

TEL. 022-215-2371 crdam@grp.tohoku.ac.jp



↑ 共同利用公募はこちらから

■ NHK 四大化計画エンドロール 教授 正橋 直哉

2023年8月3日 NHK 四大化計画「古代ウツ鋼を発端とした欧州での合金化研究への発展」の資料提供や番組編集を行い、エンドロールで氏名が放映されました。



コラム

「異常なほど暑く長い夏が今は遠い昔のようで、季節は晩秋、そして冬が目前と迫って参りました」果たしてこうなっているのでしょうか？・・・このコラムを書いているのが9月中旬ですので予想もつきませんが・・・例年同様の季節が訪れていることを願っております。

話は変わりますが、我が家では毎年5月の連休明けにトマトの苗を購入して栽培しています。悩むのは、今年はどのトマトにするのかということです。たいがい、栽培経験のある品種と栽培経験の無い品種を購入するのですが・・・店頭（ホームセンター等）には毎年、数多くの品種が並びます。定番の品種に加えて毎年新しい品種が登場しており、新品种が開発されていることに毎年驚かされます。当センターでも日々、新材料の開発・研究が進められており、技術職員として貢献したいと思い日々励んでおります。

(技術職員 菅原 孝昌)

— 編集・発行 —

東北大学金属材料研究所 附属新素材共同研究開発センター

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
TEL: 022-215-2371 FAX: 022-215-2137
Email: crdam@grp.tohoku.ac.jp
URL : <http://www.crdam.imr.tohoku.ac.jp/>



* 本誌の内容を掲載あるいは転載される場合は事前にご連絡下さい。