東北大学金属材料研究所の紹介

東北大学金属材料研究所教員一同(代表 所長 高梨弘毅*)

1. はじめに

東北大学金属材料研究所は、東北大学で最初に設立された研究所で、全国の国立大学附置研究所の中でも最も長い歴史を持つ研究所の一つである。(詳細は「2. 金属材料研究所の歴史」, 「4. 金属材料研究所百周年事業, 式典の報告」参照). 東京から約1.5時間の仙台の中心地に近い東北大学片平キャンパス北端にあり, 国内関係者だけでなく, 一般や海外の方にも, 「金研(KINKEN)」の愛称で知られている.

創設者は, 金属学の父と呼ばれ, 後に日本金属学会を設立した本多光太郎博士である. 「今が大切」, 「つとめてやむな」, 「産業は学問の道場なり」等の語に象徴される本多イズムを継承した金研精神に則り, 金属の研究を中心に, 材料科学の発展に貢献してきた. 研究対象を, 設立当時の鉄鋼材料から, 非鉄金属, 非金属にまで広げ, 現在は『金属をはじめ, 半導体, セラミックス, 化合物, 有機材料, 複合材料などの広範な物質・材料に関する基礎と応用の両面の研究により, 真に社会に役立つ新たな材料を創出することによって, 文明の発展と人類の幸福に貢献する』を理念として, 基礎と応用, 理学と工学が連携・融合した研究教育活動を展開している.

2016年4月現在本所は27の研究室と9つのセンターからなり, 教員128名, 技術スタッフ56名, 研究員42名, 大学院生191名が所属する.(詳細は「3. 研究部門, センター紹介」参照). 各研究室は, 理学研究科, 工学研究科, 環境科学研究科のいずれかの協力講座でもあり, 各研究科の大学院生を受け入れている. また本所は, 材料科学共同利用・共同研究拠点にも認定されており, 先端的研究設備の共同利用, 技術相談, 国際交流支援等を通じ, 国内外の研究者との共同研究, 産学連携を推進し, 材料のメッカと呼ばれている.

本記事では, 本会設立に始まる日本金属学会との関わりを含めた本所の歴史, 現在の各研究室・センターの活動内容, 将来に向けた取り組みと展望を, 創立百周年記念事業, 百周年記念式典の報告と併せて紹介する.

2. 金属材料研究所の歴史

金研は, 本年2016年(平成28年)5月21日に創立百周年を迎えた. 金研の原点は, 1916年(大正5年)に, 東北帝国大学理科大学教授本多光太郎博士の尽力により, 良質な鉄鋼材料の国産化を目的とし, 住友家からの寄附によって, 学内に創設された臨時理化学研究所第2部である⁽¹⁾. 1919年には東北帝国大学附属鉄鋼研究所に改名, さらに1922年, 研究対象を金属一般に広げるため, 金属材料研究所へと改組・拡充した. 1987年に総合的な材料研究を目指し, 日本初の全国共同利用研究所へと改組すると同時に, 英語名称をResearch Institute for Iron, Steel and Other Metals (RIISOM)からInstitute for Materials Research (IMR)へと改称した. 1921年に完成した煉瓦造りの鉄鋼研究所本館(図1, 後の金研旧1号館)は, 1986年に解体されたが, その正面中央部壁面(ファサード)部分が, 1988年にアメリカ金属学会(American Society for Metals (ASM) International)からHistorical Landmarkとして認定されたことを証明する銘板とともに, 現在の1号館の玄関ロビー吹き抜けに保存展示されている⁽²⁾.

図1 鉄鋼研究所. 現在の金研1号館はこの建物の跡地に建つ.

創立初期には, KS 磁石鋼(1916年), センダスト(1932年), 新KS 磁石鋼(1933年), コエリンバー(1940年)などの発明が相次いでなされた. その後も, アモルファス金属

* 東北大学金属材料研究所所長(〒980-5877 仙台市青葉区片平 2-1-1)
E-mail: koki@imr.tohoku.ac.jp http://www.imr.tohoku.ac.jp
2016年8月1日受理[doi:10.2320/materia.55.537]

(1973年), SiC 繊維(1975年)などが実用化された。研究成果の一層の普及や民間企業への技術指導などを目的に, 1933年に第1回の夏季講習会が開催され, 現在(第86回2016年)まで続いている。最近では, 講談社ブルーバックス・シリーズより『金属材料の最前線—近未来を拓くキー・テクノロジー』(2009年)を刊行し, 材料科学の啓蒙活動も活発に行っている。最も注目すべき点として, 創立以来, 数多くの人材を輩出してきたことが挙げられよう。国内のみならず海外の研究機関においても, 多くの金研出身者が活躍している。

1939年にはカピッツ型パルスマグネットが設置され, 強磁場研究に活用された(現 強磁場超伝導材料研究センター)。1952年に日本で初めてコリンズ式ヘリウム液化装置が導入され, 我が国の低温科学研究の礎となった(現 低温物質科学実験室)。1969年には茨城県に附属材料試験炉利用施設(現 量子エネルギー材料科学国際研究センター)が設置され, 現在も国内の原子力材料研究の拠点の一つになっている。1987年に設置された新素材開発施設(現 新素材共同研究開発センター)は, 試料作製・測定・分析装置群を整備し, 金研での全国共同利用における中心的役割を担っている。1994年には計算材料科学センターが設置され, スーパーコンピュータが稼働開始し, 計算科学への進出を本格的なものにした。この様に金研は, 基礎学術の探究, 研究設備利用の提供, 実用材料の開発等を通じて, 東北大学の基本精神である, 研究第一主義, 門戸開放, 実学尊重を体现し, 我が国の物質・材料研究の発展に貢献してきた。

最後に日本金属学会との関係に視点を移してみよう。日本金属学会は本多博士の提唱により, 1937年(昭和12年)2月14日に創設された。学会設立以来65名の歴代会長のうち, 金研に在籍された研究者は, 実に20名にのぼる。1952年に東大山上会議所で行われた日本金属学会と日本鉄鋼協会の共同懇親会に, 本多博士(図2 最前列右から4番目)をはじめとする多くの金研関係者が参列した。本誌「まてりあ」の前身紙「日本金属学会会報」を紐解くと, 創刊(1962年)最初のページには, 当時会長であった第7代金研所長大日方一司博士による『日本金属学会会報発刊の辞』⁽³⁾が掲載されており, 学会英文誌においても, 最初の論文⁽⁴⁾の筆頭著者は, 第10代金研所長竹内榮博士であることに気付く。金属学会の行事には, 「本多記念講演」「村上記念賞」「増重量賞」など, 金研に在籍された先生の名前を冠したものがあっても, 金属学会と金研は, 非常に深い関係にあることが伺え

図2 日本金属学会と日本鉄鋼協会の共同懇親会(1952年4月4日)での記念写真。

る。以上のように, 金属学会をはじめとする材料研究コミュニティは, 先人達の貢献の上に成り立っていることが分かる。

3. 部門・センター紹介

現在(2016年9月1日)の金研を構成する27研究室(研究部門, 研究部)と, 13のセンター等(センター, プロジェクト, 実験室, コア)を紹介する。

●**金属物性論研究部門**(教授: G.E.-W. Bauer, 准教授: 野村健太郎, 助教: 高橋三郎, 助教: O. Tretiakov, 特任助教: J. Barker) **応用理論物理—量子力学からナノテクノロジーへ:** スピントロニクスおよび磁性は確立した研究分野であり, これまで主として磁気ハードディスク, 電子自動車産業, 生体医学などにおいて堅牢性と正確性をもつセンサーとして実用化されている。本理論グループでは様々な物質における電子スピンに関する新奇物理現象解明することで, 省エネルギーかつ高効率を実現する次世代ナノスケール技術の発展に貢献することを目指している。(図3 参照)

図3 スピン・カロリトリニクスのイメージ。熱がスピン角運動量と相互作用する。

●**結晶物理学研究部門**(教授: 藤原航三, 准教授: 森戸春彦, 助教: 前田健作) **結晶成長が拓く人類社会の未来:** エネルギー・環境問題は全人類が真剣に向き合って解決策を見出さなければならない課題である。太陽電池のようなデバイスの特性は, 基板に用いられる材料の品質に影響される。本研究部門では, エネルギー材料の高品質結晶成長技術の開発に取り組んでいる。(図4 参照)

図4 その場観察装置と Si 多結晶の固液界面不安定化の様子。

●**磁気物理学部門**(教授：野尻浩之，助教：茂木 巖，助教：木原 工，助教：平田倫啓)**強磁場がもたらす新しい磁性の姿を求めて**：磁場と物質の作用は磁石だけでなくあらゆる物質に生じる．強磁場は，物質を制御する外部環境の中で最も精密に，その強さ，時間構造および履歴を制御できる外場である．磁気物理学部門では，日常では存在しない強い磁場をもちいて，極限状態であられる磁性体の新しい姿とその起源を研究している．(図5参照)

図5 X線自由電子レーザー回折装置用のスプリット型パルス強磁場磁石．

●**量子表面界面科学研究部門**(教授：齊藤英治，准教授：内田健一，助教：塩見雄毅，助教：井口 亮)**スピン，光，MEMS ミクロの回転でエネルギーを作り出す**：本研究部門では，電子のスピンに着目し，新規の物理現象を開拓している．スピンは相対性理論から導かれる量子力学的な電子の回転である．この回転をナノテクノロジーによって利用することで，次世代電子技術「スピントロニクス」の原理確立を目指している．(図6参照)

図6 スピン流体発電(SHD)の説明(a)と測定結果(b)．

●**低温物理学研究部門**(教授：塚崎 敦，講師：藤原宏平，助教：塩貝純一，助教：原田尚之)**超高品質薄膜界面の物性開拓**：本研究部門では，固体界面に特有な物性の開拓と機能開発を行っている．特に，真空プロセスを介した薄膜合成技術を駆使することで，原子配列の制御された急峻な界面に立脚した研究を展開している(図7参照)．それら試料を用いることで，固体物質自身の持つ特性を引き出すとともに，界面で特異的に発現する機能の開発を目指している．

図7 分子線エビタキシー装置(左)とFeSe 極薄膜における電界誘起超伝導と極薄膜化の模式図(右)．

●**低温電子物性学研究部門**(教授：佐々木孝彦，准教授：井口敏，助教：橋本颯一郎，助教：伊藤桂介)**やわらかい有機物質・材料に現れる多彩な電子物性の開拓**：本研究部門では，有機分子の集積により構成されている“やわらかい”分子性物質に発現する新しい電子物性を探索し，その起源や機能を解明する実験研究を進めている．多様な有機物質の個性と物性物理現象の統一性を融和させた新しい物質科学の創生を目標にして，電子物性物理の重要で興味ある問題にチャレンジしている．(図8参照)

図8 強相関電子系分子性導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Y (Y = Br, Cl) の結晶構造と金属-モット絶縁体相転移近傍の電子相図．

●**量子ビーム金属物理学研究部門**(教授：藤田全基，准教授：南部雄亮，助教：池田陽一，助教：鈴木謙介)**新奇機能の起源を構造とダイナミクスから解明する**：強相関電子系では，電子の持つ自由度(電荷・スピン・軌道など)が複雑に絡み合っており，新しい機能を発現することがある．その発現機構の解明には，骨格となる静的構造，すなわち結晶構造の決定だけでなく，スピンや格子などの動的構造(ダイナミクス)に関する知見を得ることが極めて重要である．本部門では量子ビームを活用した研究を展開している．(図9参照)

図9 【一次元量子スピン系の磁気励起】中性子散乱実験では広いエネルギー運動量空間のダイナミクスの情報が得られる．

●**結晶欠陥物性学研究部門**(教授：米永一郎，准教授：大野裕，助教：杵掛健太郎，助教：出浦桃子)**欠陥の構造と物性の解明，その制御による新機能探索**：現実の結晶はナノスケールで局所的に原子配列の乱れた構造(格子欠陥)を含んでいる．本研究部門は，転位，粒界などの欠陥の成因と性質を多元的に解明する学理の探求と，その固有な物性を積極的に制御し物質の高性能化・新機能化を進めて次世代産業への実用化を目指す欠陥制御科学を行っている．(図10参照)

図10 機能性結晶粒界による超高品質シリコン結晶の実現を目指して：種々の太陽電池用多結晶シリコンの育成，およびその特性評価(モノライク，微細粒多結晶，通常多結晶)．

●**金属組織制御学研究部門**(教授：古原 忠，准教授：宮本吾郎，助教：佐藤充孝)先進的な微細組織制御による金属材料設計の新展開：鉄鋼材料はこれからの未来を支える最も重要な基盤材料である。本研究部門では、より優れた特性を持つ鉄鋼材料を初めとする構造用金属材料を開発するため、特性を支配する微細組織を加工熱処理や添加元素を最適化することで制御するとともに、その形成過程を先端解析手法を用いて実験・理論両面から解明する。(図11参照)

図11 窒化鋼の大きな表面硬化を引き起こすナノクラスター、ナノ析出物の直接観察。

●**計算材料学研究部門**(教授：久保百司，助教：尾澤伸樹，助教：樋口祐次，助教：西松 毅，特任助教：大谷優介，特任助教：許 競翔)計算科学シミュレーションによるエネルギー・環境問題の解決と安全・安心社会の実現：エネルギー・環境問題の解決，安全・安心社会の実現のためには，航空・宇宙機器，トライボロジー，太陽電池，燃料電池といった多様な研究分野において高機能・高性能材料の開発が必須である。本研究部門では，世界に先駆けて多様な計算科学シミュレーション技術を開発し，理論に基づく高精度かつ高速な材料設計に向けて研究を推進している。(図12参照)

図12 自動車エンジン用固体潤滑剤であるダイヤモンドライクカーボン膜の化学反応が導く超低摩擦現象。

●**材料照射工学研究部門**(教授：永井康介，准教授：井上耕治，助教：清水康雄，助教：南雲一章)照射欠陥の本質的解明と機能制御を目指して：世界最先端のナノ解析技術，特に，電子の反粒子である陽電子を利用した原子空孔やナノクラスターの検出法や，原子1個1個を3次元マッピングできる3次元アトムプローブ法(図13参照)等を駆使して，格子欠陥や不純物・添加元素クラスター等のナノスケールの乱れを明らかにし，原子力材料をはじめ様々な応用研究・開発に貢献している。

図13 欧州加圧水型発電炉(ベルギー Doel-2 炉)圧力容器鋼監視試験片の3次元元素分布。

●**原子力材料物性学研究部門**(教授：秋山英二，准教授：永田晋二)水素・放射線の材料物性への影響とそれを応用した新規な測定法と機能性材料：本研究部門では，金属材料物性に及ぼす水素の影響や，放射線と材料との相互作用を利用した材料物性の研究を行っている。腐食反応が引き起こす水素侵入と金属の水素脆化挙動(図14参照)，セラミックス材料の動的照射効果，水素同位体挙動などを解明し，過酷環境下での材料信頼性を高める研究を進めている。

図14 水素昇温分析装置と真空中引張試験ユニット。

●**原子力材料工学研究部門**(教授：青木 大(兼)，准教授：佐藤裕樹，助教：松川義孝)極限環境で使用される原子力エネルギーシステム材料の研究：地球規模で増え続けるエネルギー需要と原子力エネルギーシステムの安全性を求める社会的要請をうけて，原子力材料研究の重要性は高まっている。当研究室では将来のエネルギー源として開発が進められている核融合炉や次世代原子炉の苛酷な環境に耐える材料の研究を行っている。(図15参照)

図15 粒子分散強化における障害物強度に及ぼす結晶学的ミスマッチの影響(Zr 合金燃料被覆管中のNb析出物)。

●**電子材料物性学研究部門**(教授：松岡隆志，助教：花田 貴，助教：谷川智之，助教：窪谷茂幸)窒化物半導体の結晶成長技術開発と物性制御による革新的省エネルギーデバイスの創成：本研究部門ではデバイス開発を念頭に，新しい電子材料の研究開発に取り組んでいる。現在取り上げている材料は，青色発光ダイオードに用いられている窒化物半導体である(図16参照)。1980年代にいち早く見出した“結晶の極性と物性との関係”に着目し，独自に開発したエピタキシャル成長装置や加工プロセス装置群を駆使し，パワーデバイスや更に高効率な発光デバイスを開発することで，省エネルギー化による社会貢献を目指している。

図16 N 極性 InGaN による全可視光域発光ダイオード。

●**ランダム構造物質学研究部門**(教授：杉山和正，准教授：奥部真樹，助教：志村玲子，助教：有馬 寛)ランダム系物質科学：金属ガラス，半導体およびセラミックスなどに代表される機能性材料の特性は，ホスト構造の平均原子配列と密接な関係がある．最近では，ホスト構造に特殊な構造要素を導入することによって高度に制御した機能性材料が注目を集めている．(図17参照)

図17 シンクロトロン放射光を用いた環境構造解析装置．

●**錯体物性化学研究部門**(教授：宮坂 等，准教授：谷口耕治，助教：高坂 亘，助教：関根良博)電子・スピン・化学反応の自在制御を目指した金属錯体格子設計：本研究部門では，金属錯体を物質基盤とする多次元格子を合目的に設計することにより，“格子上”の電子・スピン，“格子空間”でのイオン・物質輸送と分子間相互作用の高次自在制御を目指した分子材料の開発に取り組んでいる．特に，化学的相互作用と物理応答の指向的・協奏的変換に着目し，近未来分子材料への新たな提言を発信することを目指している．(図18参照)

図18 D/A 格子からなる二次元層状化合物の磁気挙動(左)とTHz時間分解分光法より得られた電気抵抗(相対比)の温度変化(右)．

●**非平衡物質工学研究部門**(教授：加藤秀実，准教授：和田武，助教：J.-S. Hyun)非平衡プロセスを利用した新規機能材料開発：本研究部門では，急冷などに代表される非平衡プロセスを用いて，通常の金属材料とは全く異なった内部構造を有する金属ガラスやその複合材料，多孔質材料などの開発研究を行っている．その特異な内部構造によってこれらの非平衡材料には様々な新機能を付与することができる．(図19参照)

図19 Pd 基金属ガラスの過冷却液体インプリントにより作製したX線画像診断用回折格子(左)，新規脱成分反応技術により作製したナノポーラスシリコンの電子顕微鏡像(右)．

●**磁性材料学研究部門**(教授：高梨弘毅，准教授：関 剛斎，助教：窪田崇秀，助教：伊藤啓太)人工ナノ構造制御によるスピントロニクス材料の創製：磁性材料をナノ構造化すると，電子スピンに基づく磁気特性と電子の輸送特性が密接に関係合うようになり，磁気的信号によって電気的信号を制御する，あるいは逆に電気的信号によって磁気的信号を制御することが可能になる．このことを利用した新しいエレクトロニクスがスピントロニクスである．本部門では，スピントロニクスに役立つ材料の創製と物理現象に関する基礎研究を行っている．(図20参照)

図20 ハーフメタルホイスラー合金($\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6}\text{Si}$)を用いた高出力巨大磁気抵抗素子．(a)，(b)デバイスの透過電子顕微鏡像．(c)室温における磁気抵抗曲線．

●**結晶材料化学研究部門**(教授：宇田 聡，准教授：岡田純平，助教：小泉晴比古，助教：野澤 純)界面現象の操作で新しい結晶成長を切り拓く：本研究部門は，結晶成長過程における界面現象と育成された結晶の特性の関係を明らかにする立場から，主として融液からの結晶成長に取り組んでいる．特に，電場，磁場，あるいは応力場といった“外場”を界面に印加することにより結晶—融液間の自由エネルギー関係を調整し，界面ダイナミクスを操作するといった新しい結晶成長法を目指している．(図21参照)

図21 コロイド結晶を用いた結晶化のモデル．

●**水素機能材料工学研究部門**(教授：折茂慎一，准教授：高木成幸，助教：佐藤豊人)エネルギー利用のための水素化物の材料科学：本研究部門では，高効率でのエネルギー変換・貯蔵・輸送などに適した様々な材料の創製と社会普及を目指して，燃料電池やリチウムイオン電池，さらには電子物性や超伝導にも密接に関連する，「エネルギー利用のための水素化物の材料科学」に取り組んでいる。(図22参照)

図22 (左上)水素の結合多様性を表す水素ダイアグラムと(左下)キュービックマルチアンビルプレスを用いて合成した H^- と H^{COV} が共存する新規錯体水素化物 Mg_3CrH_8 。(右上) $LiBH_4$ を固体電解質に実装した全固体リチウム硫黄二次電池と(右下) $Na_2B_{10}H_{10}$ における高速ナトリウムイオン伝導特性。

●**先端結晶工学研究部**(教授：吉川 彰，准教授：横田有為，准教授：鎌田 圭，准教授：黒澤俊介，助教：大橋雄二，助教：山路晃広)先駆的機能性結晶開発と先進センサーの具現化で未来を拓く：新規機能性結晶の開発を行なっています。単結晶合成のみならず，光や放射線，圧力等の外部からの刺激に対する応答の評価も行い，速やかにフィードバックする形で結晶組成のスクリーニングを行っている。優れた特性が見つかった際は，量産に適した引上げ法やブリッジマン法により高品質なバルク単結晶を作製し，短期間での実用化に貢献している。(図23参照)

図23 Ce:GAGG シンチレータ単結晶(左)，Ce:GAGGを搭載したガンマカメラ(右)。

●**複合機能材料学研究部門**(教授：後藤 孝，助教：K. Mettaya, 李穎)高機能セラミックスの開発を目指して：誘電体セラミックス，イオン伝導性セラミックス，熱電変換セラミックス，高温セラミックスなどは，エネルギー・環境問題を解決するための重要な機能材料である。本部門では，これらの機能材料をより高性能にするための研究や，いくつかの機能を合わせ持った複合機能材料を開発するための研究を行っている。(図24参照)

図24 レーザー CVD プロセスにより合成されたイットリア安定化ジルコニア膜の断面観察像。

●**加工プロセス工学研究部門**(教授：千葉晶彦，准教授：小泉雄一郎，助教：山中謙太，助教：青柳健大)塑性加工プロセスと電子ビーム積層造形技術の融合による高機能構造材料の開発：本研究部門では，鍛造加工や圧延加工などの塑性加工・熱処理や電子ビーム積層造形等の先端加工プロセスにおけるマクロ，ミクロ，ナノスケールの組織変化を最新の分析解析技術や計算機シミュレーションを駆使して系統的に明らかにし，特性発現メカニズムに基づいた加工プロセスの確立と新材料の創製を目指している。(図25参照)

図25 EBM により作製した三次元金属造形物。

●**アクチノイド物質科学研究部門**(教授：青木 大，准教授：本多史憲，助教：李 徳新，助教：本間佳哉)アクチノイド化合物を含む重い電子系の物理：本研究部門では，世界でも数少ないアクチノイド施設を利用して，アクチノイド・希土類化合物の純良単結晶育成および新物質開発を行っている。極低温，強磁場，超高圧の極限環境下での精密測定を通じて，新現象の発見，新しい物理の解明を目指している。(図26参照)

図26 ネプツニウム化合物で初めての超伝導体 $NpPd_5Al_2$ 。

●**不定比化合物材料科学研究部門**(教授：今野豊彦，准教授：木口賢紀，助教：嶋田雄介，助教：白石貴久)物質の構造安定性において不定比性が果たす役割とナノ空間のイメージングによる材料の組織・機能の探求：本研究部門では合金における組織形成から酸化物薄膜まで幅広い材料を対象に，物質の不定比性が物性や相変態に及ぼす影響を調べている．そのため，収差補正高分解能 TEM・STEM などの最先端電子顕微鏡法を解析手段として用い，金属・無機系構造・機能材料の電子線ナノイメージングに基づいた原子レベルでの研究を行っている．(図27参照)

図27 酸素原子の微小変位や，自発分極の直視観察を実現したPbTiO₃強誘電体薄膜の原子分解能 TEM 像．

●**分析科学研究部門**(教授：我妻和明，准教授：今宿 晋，助教：松田秀幸，助教：柏倉俊介)材料元素分析法のシーズ開発を目指して：材料開発とその特性発現のメカニズム解明に必要とされる，元素分析を中心とした新しい機器分析法の研究開発を行っている．特に固体試料を対象とした直接定量分析法の確立は現在の元素分析の大きな課題であり，この実現のための放電プラズマ励起源を使用したプラズマ分光法による装置開発を行っている．(図28参照)

図28 レーザー誘起プラズマ(左)より得られた発光スペクトル(右)．

●**非平衡軟磁性材料共同研究部門**(教授(兼)：牧野彰宏，教授(兼)：加藤秀実，特任教授：竹内 章)民間企業との共同研究体制による大学発非平衡軟磁性材料の開発・実用化：本共同研究部門では，東北大学が基礎研究で成果を創出してきた，ヘテロアモルファスおよびナノ結晶(NANOMET®)の実用化に向けた開発を強力に推進している．非平衡軟磁性材料の実用化に向けて必要となる，材料調達，工程，製造方法，製造装置等について，民間企業での量産体制の構築を見据えた研究開発を行い，各観点で最適化を図り，事業化しうる性能およびコストの両立を目指している．(図29参照)

図29 コアの外観写真．(左)成形体，(右)製品体．

●**学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト**(教授(兼)：加藤秀実，特任准教授：且井宏和，特任助教：魏 代修，客員教授：新家光雄，准教授(兼)：小泉雄一郎，准教授(兼)：梅津理恵，特任准教授(兼)：千星 聡，准教授(兼)：和田 武)名大学未来研，東工大フロンティア材研，阪大接合研，早大ナノ・ライフ機構，東京医歯大生材研との 6大学6研究所連携プロジェクト：6研究所間の連携研究成果と醸成されたコミュニティを基に創出した新概念「ライフイノベーションマテリアル」を志向した共同研究を実施することで，新しい社会基盤材料の提案と実用化を図ると共に，研究を通じた国際交流・産学連携・高度人材育成を推進し，我が国の産業界の要請に応え，社会貢献を果たす．(図30参照)

図30 プロジェクトのコンセプトと体制．

●**量子エネルギー材料科学国際研究センター**(センター長/教授：永井康介，准教授：小無健司，准教授：外山 健，助教：吉田健太，助教：仲村 愛，助教：清水悠晴)原子力研究の多様な発展へのチャレンジ：本センターは，全国大学共同利用施設として設置以来40年以上にわたり，我が国の大学を中心とする研究者に，原子力関係材料の研究に欠くことのできない放射化試料やアクチノイド元素の実験場所を提供しており，関連分野における主導的な共同利用センターとしての役割を果たしている．(図31参照)

図31 照射済み材料のナノ組織観察を行う分析装置．収差補正透過電子顕微鏡(左)，レーザー補助3次元アトムプローブ(中)．アクチノイド化合物を作製するテトラアーク炉(右)．

●**新素材共同研究開発センター**(センター長：古原 忠，教授：正橋直哉，教授(兼)：後藤 孝，教授(兼)：高梨弘毅，教授(兼)：今野豊彦，教授(兼)：米永一郎，教授(兼)：千葉品彦，教授(兼)：杉山和正，教授(兼)：吉川 彰，教授(兼)：加藤秀実，准教授：湯蓋邦夫，准教授：梅津理恵，准教授(兼)：R. Belosludov，助教：吉年規治，助教：張 岩)**Advanced Materials『夢』を形に…未来への架け橋**：本センターは物質・材料を制御・合成するための基本的原理や技術を確認し，これによって新物質・新材料を創製するとともに，これら新材料のエネルギー材料，環境材料，構造材料，電子・情報材料，生体福祉材料等の高機能性，多機能性材料への応用の可能性を検討している。(図32参照)

図32 フラックス法で育成された単結晶(a)ITO, (b)SmB₆.

●**強磁場超伝導材料研究センター**(センター長/教授：野尻浩之，教授：淡路 智，准教授：木村尚次郎，助教：高橋弘紀)**強磁場から生まれる新しい物質・材料の形を求めて**：強磁場超伝導材料研究センターは，磁性体，超伝導体をはじめとした革新的な物質・材料の研究拠点として活動している。その中心的な設備として，世界的にも6カ所にしかないハイブリッド磁石とユニークな無冷媒超伝導磁石群(図33)および超伝導磁石群，強磁場環境下で物質・材料研究を行うための様々な実験装置を備え，内外のユーザーの共同利用に供している。

図33 32 mmの内径に28 Tの強磁場を発生する世界で唯一の無冷媒ハイブリッドマグネット。

●**産学官広域連携センター**(〈大阪オフィス〉センター長/教授：正橋直哉，客員教授：岩瀬彰宏，客員教授：中平 敦，特任准教授：水越克彰，特任准教授：千星 聡，〈兵庫オフィス〉客員教授：山崎 徹，特任准教授：網谷健児，〈仙台オフィス〉教授：今野豊彦，教授：古原 忠，教授：正橋直哉，准教授：木口賢紀，准教授：宮本吾郎，助教：佐藤充孝)**産学官連携による社会貢献へのチャレンジ**：本センターは，金属材料研究所と自治体が連携し関西や東北など広域の産業支援を目的に2016年4月に設立された。共同利用・共同研究の成果を社会ニーズに繋ぐこと，産業界の研究開発力の強化，イノベーション創出，人材育成を進め，我が国のものづくり産業の発展と地域活性化を通して，豊かな国づくりを目指している。

●**計算材料学センター**(センター長/教授：毛利哲夫，特任准教授：寺田弥生，特任助教：芝 隼人)**超大規模シミュレーションによる新しい物質・材料設計の支援**：本センターは以下の業務を行っています。1. 本所スーパーコンピューティングシステムの運用並びに維持管理，2. 本所スーパーコンピューティングシステムの利用支援全般，3. 本所スーパーコンピューティングシステムを活用した材料設計シミュレーションに対する並列化支援，4. HPCI(High Performance Computing Infrastructure)との連携と「ポスト京」の物質関連プロジェクトに対する計算機資源の提供，5. マルチスケール材料科学の基礎理論研究と応用シミュレーション，6. 計算物質科学人材育成コンソーシアムの支援。(図34参照)

図34 スーパーコンピューティングシステム構成図。

●**先端エネルギー材料理工共創研究センター**（センター長/教授：折茂慎一，〈スピンエネルギー材料研究部〉教授：G.E.-W. Bauer，教授（兼）：高梨弘毅，准教授：水口将輝，助教（兼）：井口亮，〈イオンエネルギー材料研究部〉教授（兼）：宮坂 等，准教授（兼）：高木成幸，〈光エネルギー材料研究部〉教授：藤原航三，助教（兼）：杏掛健太郎，〈材料プロセス・社会実装研究部〉教授（兼）：加藤秀実，特任教授：河野龍興，准教授：R. Belosludov，〈研究コーディネータ〉特任教授：湯本道明）**持続的社会実現のための原子レベルでの複合キャリア制御による先端エネルギー材料の創成**：クリーンで経済的な持続的社会を実現するためには，エネルギー変換や物質輸送において高い効率や性能を実現する先端材料の開発が不可欠である．本センターでは，理学と工学とを融合した「理工共創」の研究を強力に推進することにより，スピン，電子，イオン，ホール，フォトン等の多様なキャリアを原子レベルで制御した先端エネルギー材料を創成している．（図35参照）

図35 先端エネルギー材料理工共創研究コンセプト図。

●**国際共同研究センター**（センター長/教授：G.E.-W. Bauer，教授（兼）：齊藤英治，教授（兼）：野尻浩之，教授（兼）：宮坂 等，教授（兼）：吉川 彰，教授（兼）：加藤秀実，教授（兼）：藤田全基）**材料科学の国際共同研究と交流の拠点を目指して**：国際共同研究センター（ICC-IMR）は，材料科学の COE である金属材料研究所において，研究部や各センターが行う全国共同利用・共同研究と連携して，材料科学に関する国際共同研究と国際交流を推進している．これらを通して，世界トップレベルのコミュニティの形成と若手研究者の育成に貢献している．（図36参照）

Visitors 2009-2015

■ USA (74)	■ China (57)	■ Germany (51)
■ Korea (43)	■ France (39)	■ UK (32)
■ Netherlands (17)	■ Russia (15)	■ India (8)
■ Switzerland (7)	■ Iran (6)	■ Canada (6)
■ Norway (5)	■ Poland (5)	■ Taiwan (4)
■ Spain (4)	■ Hong-Kong (4)	■ Italy (3)
■ Mexico (3)	■ Singapore (3)	■ Australia (3)
■ Denmark (3)	■ Slovakia (2)	■ Ukraine (2)
■ Czech Republic (2)	■ Thailand (2)	■ Argentina (1)
■ Austria (1)	■ Belgium (1)	■ Indonesia (1)
■ Rumania (1)	■ Slovakia (1)	■ Turkey (1)
■ Vietnam (1)

図36 国別海外招へい者数。

●**中性子物質材料研究センター**（センター長/教授：藤田全基，教授（兼）：折茂慎一，教授（兼）：青木 大，准教授（兼）：淡路智，准教授（兼）：南部雄亮）**中性子で切り拓く物質材料科学の新時代**：中性子散乱法は，機能性材料の物性の本質を理解する上で欠かすことのできない実験手法である．水素貯蔵物質の水素の位置と動きや，磁性材料での磁気モーメントを精密に観測できる中性子散乱を物質材料研究で最大限活用するために，本センターでは中性子利用のプラットフォーム作りに組織的に取り組んでいる．（図37参照）

図37 金研は中性子散乱実験装置2台を研究用原子炉に所有・運営しており，中性子を用いて物質科学において特徴ある研究を進めている。

●**超低損失ナノ結晶軟磁性材料研究開発センター**（センター長/教授：牧野彰宏，副センター長/特任教授：竹内 章，特任教授：西山信行，特任准教授：P. Sharma，特任助教：A. D. H. Setyawan，特任助教：汪 姚岑，助手：竹中佳生）**新ナノ結晶軟磁性材料の開発による送電ロスの抑制，電力損失の大幅低減**：本センターでは，本所が生み出した特異なナノヘテロ構造の結晶化を利用し極限まで低い磁心損失を実現しうる超高鉄濃度ナノ結晶軟磁性合金“NANOMET®”の創成を行っている．また，実用化に向けた多くの技術課題に対し異分野の学術および工学領域が協働して解決する組織的研究を行うことによって，本低損失材料創製における基盤技術を確立することを目指している．（図38参照）

図38 NANOMET®の製造方法。

●**低温物質科学実験室**(センター長/教授(併): 佐々木孝彦, 准教授: 野島 勉, 助教: 中村慎太郎) **新しい低温物性の探索と制御**を目指して: 本実験室では, 低温において特異な量子現象を示す超伝導体や強い相関を持った電子系における電子物性の研究を行っている. これらの物質が低温で示す物理現象を解明するだけではなく, 通常では存在し得ない電子状態をデバイスや薄膜試料中に作り出すとともに, 制御しながら新しい物理現象を見出すことを最終的な目標としている. (図39参照)

図39 電気二重層トランジスタ構造(挿入図)を用いた静電的キャリアドーピングにより引き起こされた, 高温超伝導体の超伝導体—絶縁体転移.

●**アルファ放射体実験室**(准教授: 山村朝雄) **安全文化に基づいた核燃・RIを含む材料科学の研究拠点**: 約170種類の放射性同位元素(RI), および核燃料物質の使用が可能であり, アクチノイドの金属, 金属間化合物, 錯体, 酸化物の物理的・化学的性質の研究(図40参照), 陽電子寿命測定装置, 電子顕微鏡等を用いた各種材料の照射効果の研究が行われている.

図40 強磁性スピン揺動によって超伝導が誘起される強磁性体 UCoGe の磁場対温度相図.

●**材料分析研究コア**(コア長/教授: 我妻和明, 教授(兼): 今野豊彦, 助手: 中山健一, 助手: 長迫 実, 助手: 大和田めぐみ) **材料分析による研究支援**: 材料分析研究コアは, 金属・無機材料の受託元素分析と, 透過電子顕微鏡に関わる技術支援を担っている. 併せて, 試料となる材料に対し, より信頼性の高いデータを得るための分析技術開発にも努めている. (図41参照)

図41 誘導結合プラズマ発光分光分析装置.

4. 金属材料研究所百周年事業・式典の報告

百周年記念事業の準備は約4年前より進められた. 百周年記念事業事務局が2012年4月に本多記念館に設置され, 10月には百周年ホームページがウェブサイトオープンし, 研究所のニュースレターである”KINKEN”の70号(2013年春号)より「百周年事務局だより」のコラムがスタートした. 記念事業でシンボルとなる「百周年ロゴマーク」は一般公募され, 海外からの応募も含む765点の作品の中から, 宮城県工業高等学校インテリア科教諭・大出光一氏の作品が採用され, 2013年5月に創立百周年ロゴマーク発表・表彰式が行われた. また, 毎月発行の河北新報折込み「KA-HOKU ひまわりクラブ」には, 2014年1月から2015年12月までの全24回に亘り『片平の散歩道』が連載された. これは, 創立百周年を迎えることを記念して片平とその周辺を, 案内人が歴史散策しながら紹介したものであり, 創立記念日には単行本として刊行された. 金研の歴史を紹介したビデオや高校生向けに金研の研究内容を紹介したビデオも作成され, 金研ホームページ内の「一般の方へ」サイトにて閲覧可能となっている. また, 小学生向け「キッズラボ」サイトもより充実した内容に更新された. 旧1号館外壁ファサード部が保存されている金研1号館ロビーに, 本多博士により開発されたKS磁石鋼の実物が展示された(図42左). また, 2号館講堂, 本多記念館, 資料展示室の改修工事も施工され, リニューアルした本多記念館と資料展示室は一般公開が再開し, 見学が可能となっている. 本多記念室には本多先生が使用していた実験ノートや様々な写真等の遺品の数々が, また, 資料展示室には, KS磁石鋼をはじめとする, 金研で開発された各種新素材やその製品等が展示されている. 1号館と2号館を繋ぐ会議室を改装して新設されたラウンジには, 現在の金研の研究部門や付属研究施設, 研究センター等を紹介したパネルや, 研究に関連する材料・素材等が展示されている(図42右). その他にも, 記念事業として百年史の準備が進められており, 2016年度末に発行の予定である.

図42 1号館のロビーに展示されているKS磁石鋼と旧1号館の外壁ファサード部分(左)と, 新設されたラウンジ(右).

百周年記念行事としては, 5月18日~20日の3日間の日程で国際会議 Summit of Materials Science 2016 (SMS2016)が開催された. これは, 第131回金属材料研究所講演会もかねており, 18日は pre-Conference として所内の若手研究者・学生18名による口頭発表と, ポスターセッションとして64

件の演題が発表された。19-20日は、国内外の招待講演者22名と本所教員3名による国際ワークショップが行われ、盛会のうちに閉会となった。

百周年記念式典は2016年5月21日(土)の創立記念日にウェスティンホテル仙台にて開催された。行政機関、大学・研究機関および民間企業等から約340名の関係者が出席し盛大に会が執り行われた。高梨所長による式辞に始まり、里見進 東北大学総長による挨拶、小松弥生 文部科学省研究振興局長、岸 輝雄 物質・材料研究機構名誉顧問、瀧川 仁 東京大学物性研究所長による祝辞を賜り、続いて今野豊彦教授から記念事業経過報告がなされた。参加者には記念品として、東北工芸製作所製の玉虫塗のペーパーウェイトや5月20日付の河北新報朝刊・金研百周年記念特別号の別刷り、河北出版社センター刊行の「片平の散歩道 金研百年の歩みとともに」が配られた。式典に続いて2名の講師から記念講演があった(図43)。1人目は2007年ノーベル物理学賞受賞者であり、東北大学名誉博士でもある Peter Grünberg 先生で「仙台そしてユーリヒにおける磁気研究百年(100 Years Magnetic Research in Sendai and Julich)」と題して講演があった。2人目の講演者はインターメタリックス株式会社最高技術顧問で、日本国際賞など数々の賞を受賞された佐川真人博士で「ネオジム磁石の発明—研究に行き詰ったら Nucleation を一」と題した講演であった。

図43 講演中の Peter Grünberg 名誉博士(左)と佐川真人博士(右)。

記念講演の後に記念祝賀交流会が同じ会場にて開催され、約280名が参加した。所長挨拶に始まり、村井嘉浩 宮城県知事、奥山恵美子 仙台市長の祝辞を賜った後、特別顕彰として新日鐵住金(株)、JFE ホールディングス(株)、(株)東芝に感謝状と記念品が贈呈され、乾杯の発声が増本 健 東北大学名誉教授により行われた。交流会の合間にはソプラノ歌手・日比啓子さんによるミニコンサートも行われた後に、藤野伸司 新日鐵住金(株)副社長、小山茂典 NEC トーキン(株)代表取締役社長、小谷元子 東北大学原子分子材料科学高等研究機構長によるスピーチがなされ、和やかな雰囲気の中、交流会は盛会のうちに幕を閉じた。本多光太郎先生の「今が大切」という言葉は昭和25年(1950年)のこと。しかしながら、今後の金研の百年に向けて「これからも大切」という高梨所長の言葉が印象的であった。

5. 将来に向けて

創立百年を迎えた金研では、これまでの百年の伝統を継承

しつつ、これからの百年に向けた取り組みが始まっている。これからの百年はこれまでと異なり、地球規模でのエネルギーの枯渇や環境破壊等が、解決すべき喫緊の課題となっている。これらの課題解決による、持続可能な社会の実現に向けた新たな材料科学の進展を先導するとともに、その産業応用を推進する。具体的には例えば、理学と工学を融合してエネルギー問題解決に資する材料を開発するために2015年4月に新設された先端エネルギー材料理工学共創研究センターは、2016年4月より概算要求事業として採択され、先端エネルギー材料を創造して産業化を促す研究の体制が強化された。また、関西地区における産学連携拠点として活動してきた関西センターが産学官広域連携センターにリニューアルされ、東北と関西をつなぐ広域連携によるものづくり産業創出体制も強化された。さらに、6大学6研究所間の共同研究を推進してきた特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同プロジェクト(通称6研プロ)が、生活革新材料の創製を主眼とする学際・国際高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクトとして新体制でのスタートを切った。加えて、大型設備等の利用提供を通じて共同研究を推進してきた材料科学共同利用・共同研究拠点事業が最高評価(S)を得て更新され、さらなる機能の充実を図っていく。これらの事業を核として、今後百年の持続的発展に向けた新たな金研の歴史が始まっている。

6. おわりに

以上、金研の概略、歴史、各研究室・センターの取り組み、百周年記念事業、将来展望について紹介してきた。これまでの金研の発展は、創設者の本多光太郎博士をはじめとする多くの先人達による高邁な理想と弛まぬ努力、そしてそれらを支える多くの支援の上に成り立っている。金研は、次の百年においても、これまで百年続いた本多イズムを継承しつつ、材料科学を通して文明の発展と人類の幸福に貢献することを理念とし、国内外の研究者とともに、材料科学の国際的研究拠点として世界を先導し、新たな未来を開いていく。

本記事作成に際し貴重な資料とご助言をいただいた金研百周年記念事業事務局をはじめとする関係者各位に深く感謝する。

文 献

- (1) 東北大学金属材料研究所; 金研50周年記念誌(1966), 金研75周年記念誌(1991).
- (2) 平林 真: 日本金属学会会報, **28**(1989), 146.
- (3) 大日方一司: 日本金属学会会報, **1**(1962), 1-2.
- (4) S. Takeuchi and S. Saito: Trans. JIM, **1**(1960), 1-8.

(担当: 小泉雄一郎, 湯蓋邦夫, 和田武, 梅津理恵)