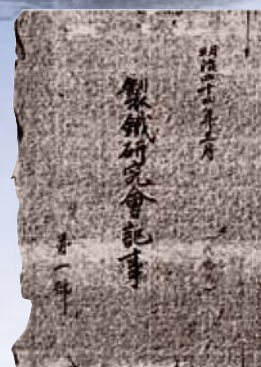


特集『新日鉄技報』創刊100周年

社会の発展を支える「鉄」。 未来へ向けて

北九州・八幡で官営製鉄所が創業してから10年後の1911年、日本近代化を支える基幹産業・鉄鋼業の発展を願い、研究開発誌『新日鉄技報』の前身『製鉄研究会記事』(※)が産声を上げた。その発刊理念は新日鉄の研究開発の礎として今日まで脈々と受け継がれている。本特集では、長年金属材料の研究に取り組み、現在、独立行政法人物質・材料研究機構の顧問として、日本の材料科学の発展をリードし続けている岸輝雄氏(東京大学名誉教授)をお迎えし、材料研究の歴史と課題をお伺いするとともに、『新日鉄技報』と共に歩んだ新日鉄の研究開発を振り返り、今後の進むべき道を展望する。



『製鉄研究会記事』第1号



『新日鉄技報』創刊100周年記念特集号 第391号

※『新日鉄技報』: 1911年『製鉄研究会記事』として発刊、1925年『製鉄研究』に改題。1950年過度経済力集中排除法の施行に伴い発足した八幡製鉄が『製鉄研究』を継承し、富士製鉄が『富士製鉄技報』を創刊。1970年新日本製鉄発足に伴い『製鉄研究』に統合され、1991年『新日鉄技報』に改題された。現在の発行部数は約3,000部、主に大学・研究機関、官公庁、お客様をはじめとした企業に配布している。



使われてこそ材料。
鉄の多様性と未知なる
世界を追求する



新日本製鉄(株) 代表取締役副社長

勝山 憲夫



独立行政法人 物質・材料研究機構 顧問

岸 輝雄氏



『ハーゼン金属強度の物理学』P.ハーゼン著、岸輝雄氏訳(アグネ発行)の表紙



材料研究の権威である故 アンソニー・エバンス教授(カリフォルニア大学サンタバーバラ校)と

きし・てるお/1939年生まれ。69年東京大学大学院工学研究科博士課程修了(工学博士)。72年西ドイツ・ゲッチンゲン大学、74年東京大学宇宙航空研究所助教授を経て、88年東京大学先端科学技術研究センター教授、95年同センター長。その後97年に通商産業省工業技術院産業技術融合領域研究所所長、2001年独立行政法人物質・材料研究機構理事長(発足時)、02年文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター長、03年日本学術会議副会長、07年日本工学会会長を歴任し、09年現職に就く。東京大学名誉教授。専門は材料(金属、セラミックス、複合材料、スマート材料)、特に金属材料の微視破壊に関する研究、セラミックス・複合材料の高靱化を主なテーマとしている。

材料研究を突き詰めると セレンディビティに恵まれる

勝山 『新日鉄技報』は鉄鋼研究開発の最先端の知識の発信と、社内研究者の情報共有化を促進するツールとして、今日までの当社技術開発の一翼を担ってきました。本日は創刊100周年記念にふさわしいゲストとして、材料科学への造詣の深い岸輝雄先生をお招きし、材料開発の歴史や将来に向けた課題など、幅広い視野からお話を伺いたいと思います。

岸 創刊100周年おめでとうございます。100年の間に2度の大戦を経験し、環境も大きく変化する中で、常にその時代を先導する高いレベルの技術研究誌を発行してこられた技術者・研究者の方々に敬意を表します。**勝山** ありがとうございます。初めに、岸先生が取り組まれた金属材料研究の内容についてお聞かせいただけますか。

岸 私はもともと大きな構造物が好きで、20代で金属材料のパウシंगाー効果※1を研究し、30代は宇宙航空研究所でロケットのモーターケースに使われるマレージング鋼※2の材料開発に従事するなど、構造材料を中心にした破壊靱性を研究してきました。特に、降伏応力などの強度を上げると破壊靱性が下がる二律背反の特性を、微細組織の制御により克服する鉄鋼材料の奥行きに魅せられました。強度と靱性を両立させた材料をつくるのは材料研究者数百年の歴史において最大の目標と言えます。

大学院時代の講義で聞いた「先進国の定義は先端的材料をつくれること」「使われてこそ材料」という話が、今も印象深くに残っています。また、熱力学や電磁気学のような純理論的な学問分野と異なり、材料という分

野を追求していくと、セレンディビティ※3に恵まれ、大きな成果が得られることがあるという魅力があります。**勝山** 博士課程修了後に留学されていたドイツ・ゲッチンゲン大学金属物理研究所のペーター・ハーゼン教授の著作を岸先生が翻訳された『金属強度の物理学』※4は、30年を経た今日においても新鮮で、金属材料の優れた知識を世界に広めて共有する大変な偉業だと感じています。

材料研究の100年史で 最も存在感ある鉄

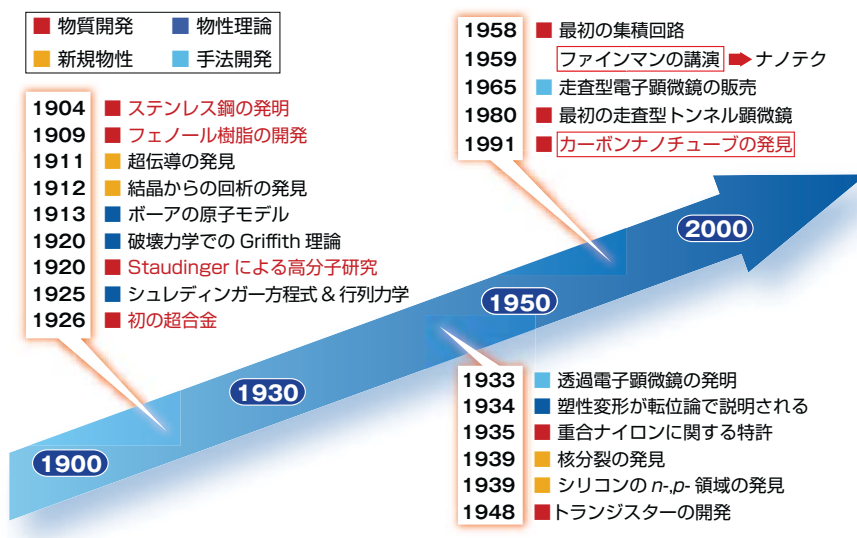
勝山 当社の先輩たちは、西洋の製鉄技術を学び、それを発展させることで直面するさまざまな問題を解決し、今日の事業の土台を築いてきました。これまでの技術開発の経緯を振り返ると、官営製鉄所の誕生から戦後約30年間は設備導入と増強の歴史、それ以降今日までが、新たな製品開発とそのためのプロセス開発の歴史と言えます。岸先生はこの半世紀の材料開発の歩みをどのように捉えていらっしゃいますか。

岸 米国で行われた材料の社会的インパクト100傑のアンケート調査※5で、20世紀に大きな役割を果たした材料の1位が鉄鋼、2位は半導体としてのシリコン、その後はガラス、コンクリート、銅、ナイロン、セラミックスと続いています。現在は複合材料やナノ材料など新材料に対する期待も大きいのですが、やはり今日まで『鉄鋼』が最も重要な材料と認められていることに誇りを持つべきです。

改めて20世紀後半からの材料研究の流れを俯瞰すると、20世紀中ごろに材料科学が学問として体系化され始め、1960年代には金属、セラミックス、有機材料(ポリマー)の3大材料科学の構築が進み、以後、その成果に基づいて各材料の大幅な機能向上が求められるように

20世紀における材料研究の動向

- ※1 パウシंगाー効果(Bauschinger effect)：一度ある方向に塑性変形を与えたあと、反対向きの力をかけると、再び同方向に荷重を加えたときより塑性変形が低い応力で起こる効果。
- ※2 マレージング鋼：航空・宇宙分野の構造材として開発された特殊鋼。日本ではゴルフヘッドにも使われている。
- ※3 セレンディビティ：思わぬ発見をする才能。思いがけないものを発見する能力。
- ※4 『ハーゼン金属強度の物理学』：ペーター・ハーゼン教授が1974年に執筆した著作を岸輝雄先生らが翻訳。1981年に日本語訳が出版された。金属強度学を学ぶ学生・研究者に広く愛読されている。
- ※5 The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)が発行する会報[JOM]が行った調査。



なりました。高機能材料の開発を目的に力学的・電氣的・光学的・磁氣的・生体的性質の向上を追求する機運は1980年代にピークに達しました。

その後は宇宙・航空、自動車、エレクトロニクスなど産業用途別の材料開発、応用研究に重点が移り、1990年代は走査型トンネル顕微鏡（STM）やスーパーコンピュータの導入に触発され、電子・原子・分子レベルの制御技術が発展して、ナノテクノロジーが新たなツールとして材料開発に寄与し始めました。現在は物理、化学、採鉱、冶金などの材料科学に生物学が加わり、3大材料だけに依存しない新しい材料科学の時代に突入しています。

勝山 1970年の新日鉄発足後、当社は研究開発の主要テーマとして5つの領域を掲げてきました。まずメーカーとしての「製品開発」と、生産ラインの自動化・連続化による生産性向上や合金元素に頼らない鋼材組織制御を実現する「プロセス開発」。中でも1000³mから5000³mへの高炉大型化と長寿命化や、溶銑を製鋼プロセスで多種多様な鋼種につくり分ける技術開発は、生産効率向上と高品質化により高度経済成長社会を支えてきました。そして材料の研究開発に不可欠な、原理原則に根ざした「基礎基盤研究」と総合素材メーカーとしての「非鉄・新機能材料の開発」、第1次オイルショックを契機に社会的な要請が高まった「環境・省エネルギー技術開発」を合わせた5領域に力点を置いて研究・技術開発に取り組み、今日に至っています。

「量から質」へ。

機能を追求する鉄鋼製品と周辺技術

岸 高度経済成長の終えん、そして中国をはじめとする新興国での粗鋼生産量の急激な伸びの中で、日本の

鉄鋼業は大量生産の「量」から高機能化などの「質」への転換を遂げてきていますが、これは日本のすべての製造業の目指す方向であり、まさに新日鉄が「日本製造業の成長モデル」を示していると言えます。そのような環境下でどのような鋼材開発に取り組み、実用化に結び付けていきますか。

勝山 具体的成果としては、例えば自動車分野では、鋼中の炭素量の削減により優れた延性（加工性）を発揮するIF鋼の開発（1970年代）を皮切りに、高耐食性を持つ鋼板表面処理技術（GA）や、車体軽量化と衝突安全性の向上という相反する特性を実現する高強度鋼材とその利用加工技術を開発しています。またハイブリッド車や電気自動車の普及が進む中で、自動車モーター用高性能電磁鋼板などの開発も行っています。

エネルギー分野では、鋼材の制御圧延・制御冷却を駆使して、強度・靱性と優れた溶接性を兼ね備えたラインパイプ用高強度厚板などを開発しているほか、鉄鋼ではありませんが電力エネルギーの高効率利用に不可欠なパワーデバイス向け炭化ケイ素単結晶ウエハ（※6）の開発なども行っています。また、超高層建築や長大橋に代表されるインフラ分野向けの耐震性や耐食性に優れた高強度鋼材など、社会のニーズに応える製品とその利用技術を開発するとともに、これらの高機能製品を高効率かつ低コストで製造するため、製銑、製鋼、圧延など製鉄プロセスの高効率化、省力化、省エネルギー化に尽力してきました。さらに地球温暖化対策のCO₂削減ニーズに应运、国家プロジェクトとして、「次世代コークス製造技術（SCOPE21）」（※7）で得られた成果の実用化や「環境調和型製鉄プロセス（COURSE50）」（※8）技術開発プロジェクトへの参画など、環境・エネルギー分野で最先端かつ多分野にわたる連携が必要な研究開発にも積極的に取り組んでいます。



最高強度ラインパイプ「X120」の敷設風景



広畑製鉄所 完全連続冷延鋼板製造ライン



大分製鉄所第1・第2高炉（1基の容積 5,775m³）

ナノテクも駆使。

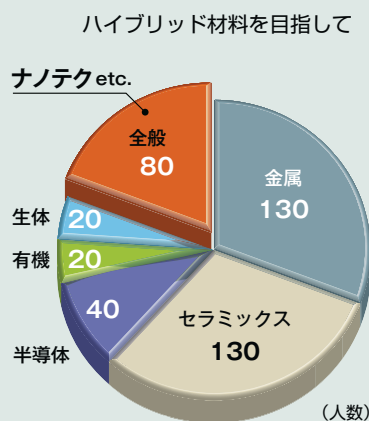
総合工学としての鉄鋼技術開発に期待

勝山 材料開発とその実用化には、それを支える基礎・基盤研究の強化が不可欠であり、岸先生が顧問をされている物質・材料研究機構(NIMS)のような研究機関の社会的役割は今後さらに高まるでしょうね。

岸 NIMSは基礎・基盤研究に取り組むことを前提に、金属材料研究所と無機材質研究所の2つのメンタリティを引き継いでいます。「材料」も「物質」も英語では同じ「マテリアル」ですが、日本では工学部が「材料」と訳し、理学部が「物質」と訳します。その両者のメンタリティの違いを1つに融合することがNIMSの大きなミッションでした。

現在は、金属、セラミックス、高分子、半導体の研究開発を総合的な観点から実施していますが、異分野が集まり融合することの相乗効果の大きさを実感しています。逆に言うと、今後さらに社会的要請が高まるハイブリッド材料※9の開発は、仕組み・手段としての異分野融合がなければできません。

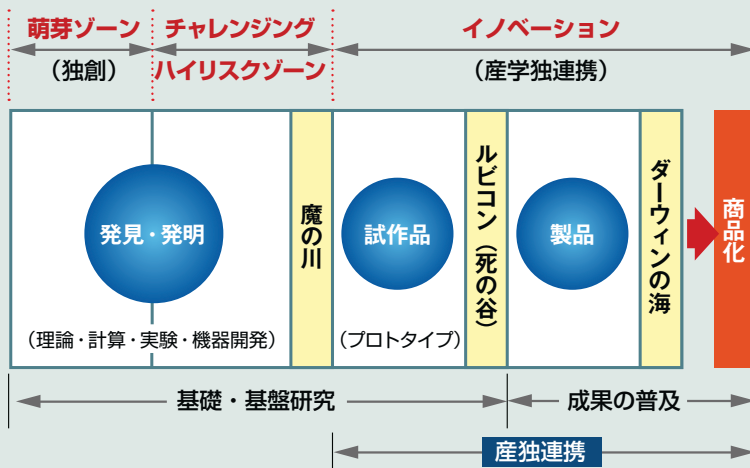
NIMSの分野別研究者数



物質系 (Material Science) 研究者 220 名

材料系 (Material Engineering) 研究者 200 名

物質と材料の相関



- 魔の川：基礎研究と開発研究の間に存在するギャップ
- ルビコン (死の谷)：開発と製品化に存在するギャップ
- ダーウィンの海：製品化と商品化の間に存在するギャップ

勝山 当社では中央研究組織による研究開発と、製鉄所の技術研究部が取り組むお客様立地の技術提案の両輪で製品開発を推進している点や、利用加工技術と溶接技術、製鉄事業以外のグループ会社製品・技術も包含した総合ソリューションの提案力も大きな強みとなっているほか、製鉄プロセス技術を基盤とした環境・エネルギー問題への幅広い対応力も高い評価を得ています。こうした取り組みの中で開発・実用化は、基礎研究者と製造現場に近い技術者の「勘」が合致して初めてうまくいくと常々感じています。

岸 先ほどお話しした材料開発史に照らし合わせると、鉄鋼材料は製造プロセスでセラミックスを多用し、表面処理では有機材料を用い、また界面制御などに必要

※6 パワーデバイス向け炭化ケイ素単結晶ウェハ：SiC(Silicon Carbide；炭化ケイ素)を用いたパワー半導体。ハイブリッド車用インバーターに搭載された場合、Si(シリコン)素子を用いたときに比べ、大きさを25分の1、電力損失を5分の1に低減できる。

※7 次世代コークス製造技術(SCOPE21：Super Coke Oven for Productivity and Environmental enhancement toward the 21st Century)：経済産業省管轄の国家プロジェクトとして開発された、低品位原料炭の利用拡大や大幅な省エネルギー効果を上げるコークス製造技術。2008年5月大分製鉄所に導入し、さらに名古屋製鉄所で第2号機の建設を決定した(2013年稼働予定)。

※8 環境調和型製鉄プロセス(COURSE50：CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50)：高炉からのCO₂排出を大幅に削減するため、副生ガスから増幅させた水素を用いて鉄鉱石を還元する技術と、製鉄所内の未利用排熱の有効利用による高炉ガスからのCO₂分離・回収技術を主要技術として開発を進めている。後者については2010年4月から君津製鉄所で実証実験を行っている。

※9 ハイブリッド材料：異なる物質を分子・原子レベルで混合してつくり、両者のメリットを相乗的に高めることのできる材料。



パワーデバイス向け炭化ケイ素単結晶ウェハ (新日鉄マテリアルズ(株))



な計測・分析技術では高度な計算材料科学や電子顕微鏡など最先端の解析技術を使う、まさにナノテクノロジーを包含した多彩な材料開発に取り組んでいますね。今後総合工学としての鉄鋼技術開発において、新日鉄がリーディングカンパニーとしての役割を果たしていくことを期待しています。

勝山 近年、高分解能電子顕微鏡をはじめとするナノスケールの観察技術が著しく進歩し、従来は「実際に見ることはできないが、このように考えると説明がつく」という仮説で進めていたものの実像が見えてきました。例えば、3次元アトムプローブ^(※10)での観察・構造解析により、高強度鋼中のコッテレル雰囲気^(※11)の挙動や析出物と転位^(※12)との相互作用などのメカニズムがわかってきました。このように高度観察技術と第一原理計算^(※13)などによる検討で原点に戻り、実像を明らかにする取り組みが進展しています。

岸 ITと生命科学分野が弱い日本が国際競争に打ち克つためには、鉄鋼など素材産業の競争力を必ず確保しなければならぬと考えていますので、今のお話は大変心強いですね。

産学独連携で取り組む 人材育成と戦略的研究

勝山 2007年9月、NIMSは文部科学省の「世界トップレベル研究拠点プログラム」^(※14)に国立大学(東北・東京・京都・大阪・九州大学以外で唯一選ばれました。その理由は何かとお考えですか。

岸 ナノテク・材料開発におけるこれまでの実績と、論文数・被引用数が急激に増えていることが大きな理由だと思います。10年前に日本で9位だった材料科学分野の研究者1人当たりの論文発表数は現在トップです。

もう一つは、「基礎研究に国境はない」という考えで、国際的に通用する研究に軸足を置き、2003年から若手国際研究拠点として5年間で27カ国80人の優秀なポスドク^(※15)を集め、優れた研究成果を数多く出したほか、2005年には物質・材料研究をリードする世界の代表的機関をすべて入れた「世界材料研究所フォーラム」を設置して、情報交換と国際連携の強化を図っていることが評価されたのだと思います。

また最近では、国際的なコラボレーションと大学院の学生教育を視野に入れて、NIMSと産業技術総合研究所(AIST)、筑波大学、経団連がナノテクノロジーの産学官連携拠点となる「つくばイノベーションアリーナ」を形成しています。これらの動きからNIMSは、材料のCOE(Center of Excellence)研究拠点としてネットワークのハブになることを目指しています。

勝山 大変積極的な取り組みですね。当社でも2006年度から大型・戦略大学委託研究課題を設定し、NIMSと当社数理科学研究部の連携を含め、複数の研究機関や大学とテーマオリエンテッドな連携を結び、多彩な分野で委託研究や共同研究を推進しています。また近年、大学では鉄鋼材料・プロセスの基礎研究が少ないことを踏まえて、東京大学での「環境マネジメント工学」の寄附講座や、東北大学大学院環境科学研究科をはじめとする大学との連携講座を設立し、構造材料やプロセスに関わる基礎・基盤分野の底支えを図るとともに、環境・エネルギー分野など鉄鋼産業の知見が役立つ領域での連携を強化しています。

さらに2010年度からは、各大学の准教授や助教と当社の研究者による、若い世代の連携を深めることで、大学の若手研究者に早くから産業界のダイナミズムに触れてもらう機会を提供すると同時に、当社の知の拡大を図っています。

総合技術センター・君津製鉄所を見学される岸氏



大型引張試験機



3次元アトムプローブ



厚板ライン



環境調和型製鉄プロセス(COURSE50)の実証実験設備



岸 学生を含めると大学は膨大な資産を持っていますので、これを活かしていく産学連携は大変重要だと思います。寄附講座や連携講座などは、鉄鋼というものを大学の中で可視化する上で意義深い取り組みですね。今後の日本の科学技術の課題はやはり教育と人材育成です。現在、環境・エネルギーなどのグリーンイノベーションが求められている中で、太陽電池やリチウムイオン電池、燃料電池などは日本で発展した技術であり、日本は世界が求めるイノベーションの宝庫です。しかし、実用化して何かを達成するイノベーションには工学的センスや意欲が大切なのに、現在の大学専攻志望を見ると理工系が少なく、その中でも工学系の人気がない。今後のイノベーションには工学が必須です。また、その評価法に問題もありますが、大学ランキングでも東京大学が世界で26位と年々低下し低迷しています(1位はハーバード大学)。高度な工学博士が育っているとは言い難く、大きな不安を感じています。

新日鉄が研究・開発陣容の質・量共に、世界ナンバーワンの鉄鋼研究のメッカとしての地位を保ち、飛躍す

ることを願っていますが、特にグローバル化の時代にあつて、技術流失、知財流失に配慮しつつ、コア技術を守りながら押さえた上での「オープンイノベーション」、つまり国内外の研究機関との連携と人材交流、大学との連携による人材育成に取り組んでいただきたい。その過程でNIMSも大きな役割を果たしていきたいと思っています。市場経済では企業が競うことは大前提ですが、これからは国を挙げて協力する時代です。戦略的鉄鋼研究を進める「産官学独連携による新たな研究システム構築」においても、新日鉄のリーダーシップを期待しています。

勝山 鉄鋼業ではグローバル競争が激化していますが、日本鉄鋼業の強みの一つ目は国際的視点から見たときの商品競争力と安定かつ短納期の供給力で、二つ目がお客様との強固な関係をベースとした研究開発・商品開発力の維持向上により、お客様のニーズに合致した素材を提供できること。三つ目は成長するアジア市場に極めて近い立地条件です。そして岸先生がまさにおっしゃる高い研究開発力・製造実力を支える人材こそが、これらの強みを支えていると考えています。これらの強みを活かしつつ市場ニーズに合致した新商品の開発、製造工程における省エネルギー・省資源、ゼロエミッションのライフサイクル技術開発、そして根源的な課題解決を導く新たな原理の探求といった研究開発テーマが今後ますます重要になります。

製鉄技術は人類の有史5000年の歴史があります。しかし鉄の理想強度から考えると、現在は10分の1程度がようやく工業化・実用化された段階で、さらに追求すれば新しい領域がまだまだ拓けます。今後も原理と実証をベースとする新たな発想で、社会ニーズを先取りした鉄鋼材料開発に挑戦していきます。本日は貴重なお話をいただきありがとうございました。

(この対談は2011年10月28日、当社紀尾井倶楽部で開催されました)

つくばイノベーションアリーナ(TIA)の概要

- ※10 3次元アトムプローブ：物質の構成元素約100万原子の空間位置を原子レベルの空間分解能で3次元可視化する装置。鉄鋼材料中のすべての元素の存在位置を、格子間隔レベルの空間分解能で調べることができる。金属材料中のナノ組織構造解析に威力を発揮している。
- ※11 コットレル雰囲気：転位(※12)の直下部の引き伸ばされた領域に、炭素や窒素のような小さな原子が入り込んだことによって、その領域のひずみエネルギーが低下された状態。
- ※12 転位：構成原子が三次元的に規則正しく配列している結晶において、その原子配列のずれが生じた境界線に相当する部分。金属の機械的性質を左右する重要な因子の一つで、外からの力によって、この境界線の数が増えたり移動する現象が金属のような結晶性材料の強度や靱性などの性質に大きな影響を与える。
- ※13 第一原理計算：実験データのような経験知を一切用いず、理論計算のみで事象を説明する値を得る原理の総称。物性物理学では、量子力学や電子の質量などの基本法則によって物性値を直接導くこと。
- ※14 世界トップレベル研究拠点プログラム：文部科学省が2007年度から開始した事業。第一線の研究者が世界から多数集まってくるような、優れた研究環境と高い研究水準を誇る研究拠点の形成を目指す。東北大学(原子分子材料科学高等研究機構)、東京大学(数物連携宇宙研究機構)、京都大学(物質・細胞統合システム拠点)、大阪大学(免疫学フロンティア研究センター)、物質・材料研究機構(国際ナノアーキテクトニクス研究拠点)、九州大学(カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所)が研究拠点として採択されている。
- ※15 ポスドク(Post-Doctoral Fellow；博士研究員)：大学の博士課程修了の研究者。主に博士号取得後、任期を決めて大学や研究機関などで研究職に就いている博士研究員。

Under One Roof

グリーンインダストリー
(産業界・経団連)

nano

国立大学法人 筑波大学

独立行政法人 物質・材料研究機構

独立行政法人 産業技術総合研究所

TIA 基本理念

- 理念1：世界的な価値の創造
- 理念2：Under One Roof
- 理念3：自立・好循環
- 理念4：Win-Win 連携網
- 理念5：次世代人材育成

TIA nano
Tsukuba Innovation Arena