

Focus 01

農工連携でバイオマスの産業化に大転換

地球温暖化を緩和するには、石油など化石資源の消費量を減らす必要がある。自動車や発電による大量消費はもちろん、原料として使う石油の削減も重要な課題である。その解決策として期待を集めているのが、再生可能な生物由来のバイオマス資源の有効利用である。

神戸大学の「バイオプロダクション次世代農工連携拠点」(農工連携拠点)が2008年に始動し、バイオマスからの次世代燃料や化成品原料の生産と事業化に挑んでいる。

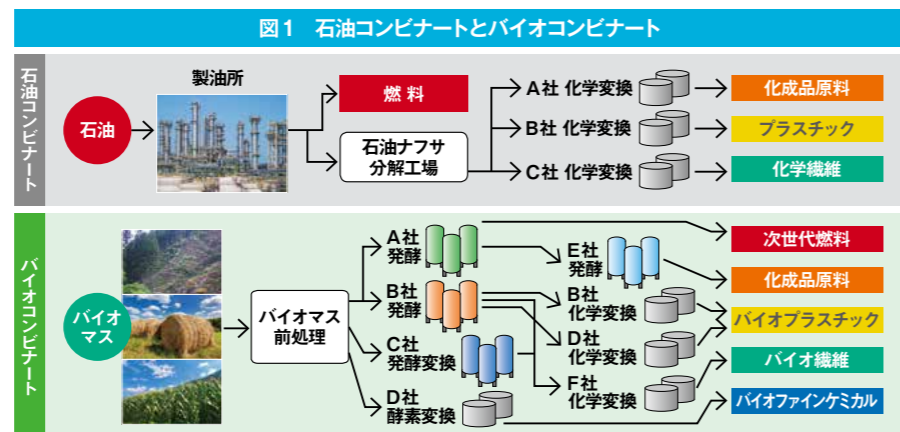
いる。農学と工学の融合領域で先端バイオ技術を駆使し、石油依存から脱して次世代のグリーンイノベーションをめざす。

化粧品、医薬品の原料、バイオプラスチック、バイオ繊維など、成果は着実に生まれている。今年4月には文理融合型の大学院を新設し、次世代のイノベーション人材の育成をめざす。産業界からは神戸大方式の「産産学」連携に熱い眼差しが注がれている。

次世代のバイオコンビナート実現へ

資源・エネルギーや環境問題は、持続可能な社会を実現する上で、避けては通れない。石油の代わりに、再生可能な資源であるバイオマスから、次世代燃料や化成品原料、プラスチック、繊維など、産業に重要な物質を生産する「バイオプロダクション」が世界的に注目されている。

バイオプロダクションの大きな課題は、サトウキビやトモロコシなど有用な食糧資源を使ってきたことだ。一方、稲わらや廃材、古紙など未利用のセルロース系バイオマスは分解が難しく、生産工程でも多くのエネルギーが必要となるため、大規模なプラントとして実用化された例はまだない。セルロースはブドウ糖が直線状につながった多糖で、植物細胞壁の半分を占め、地球上に最も多く存在する有機物だ。神戸大の農工連携拠点は、セルロース系バイオマスから多様な物質を高効率に作り出すための基盤技術を確立し、「バイオコンビナート」を形成することに挑戦している。



コンビナートといえば、石油の精製や貯蔵施設、それらを原料として化成品を生産する工場の集まった地域を指す。神戸大では、バイオマスを石油に見立て、バイオマスの前処理や貯蔵、分解、微生物を用いた物質生産までを行う「バイオコンビナート」の確立を目標としている(図1)。それぞれの工程に強みを持つ企業が、役割分担しながら協力することで、燃料、化成品原料のほか、近年注目を集める機能性食品の効率的な生産をめざす。

武田 廣 (たけだ ひろし)
神戸大学長

1977年、東京大学大学院理学系研究科博士課程単位修得退学。78年、同大学理学部助手。86年、同大学理学部附属素粒子物理国際センター助教授。89年、神戸大学理学部教授。同大学大学院理学研究科長・理学部長、同大学附属図書館長、同大学研究担当理事を経て、15年より現職。15年より「バイオプロダクション次世代農工連携拠点」総括責任者。

拠点形成をきっかけに10以上の海外研究機関とも連携が広がった。バイオマスの豊富な山間地域での新産業や雇用創出など大きな経済効果が期待される。

6つのコア技術で実現

神戸大は、微生物の代謝機能を改良し、目的とする化合物を大量生産するスーパー微生物(細胞工場)の研究では世界のトップレベルにある。バイオプロダクションは効率良く分解や発酵をする微生物の働きが決め手となる。「農学」「工学」の先端技術に、「理学」「医学」の総合力を生かして、神戸大ならではの独自の6つのコア技術を確立してきた(図2)。

福田 秀樹 (ふくだ ひでき)

独立行政法人大学改革支援・学位授与機構長

1970年京都大学工学部卒業後、鐘淵化学工業株式会社(現株式会社カネカ)入社。94年、神戸大学工学部教授。同大学大学院自然科学研究科教授、同大学自然科学系先端融合研究環長などを経て、2009年より同大学長。16年より現職。08年～15年まで「バイオプロダクション次世代農工連携拠点」拠点長、09年～15年まで同総括責任者。



- ①バイオマスリソース: 分解しやすく収率の良い新規バイオマスの開発
- ②前処理プロセス: 省エネルギー・環境適合型のバイオマス分解促進の前処理プロセス
- ③細胞工場: 目的の化学品を高い効率で生産するスーパー微生物
- ④バイオプロセス: 細胞工場から効率良く生産する発酵装置の開発
- ⑤分離・化学プロセス: 省エネルギー・環境適合型の膜分離・化学プロセスによる発酵産物の効率的分離
- ⑥機能性・安全性評価: バイオマス由来製品の機能性・安全性評価と新規機能の開拓

大学をリサーチハブに「産産学」

石油化学、ファインケミカル、製紙、触媒、酒造、食品など多分野にわたる協働機関13社が参加しているのが特色だ。バイオプロダクションはたくさんの分野が融合し、しかもバラエティに富んだ業種が参画しないと実現できない。

事業開始時の拠点長だった福田秀樹さん(前学長)は、「リーマンショック後で、企業の経営も厳しい時期でした。資金や人材を出す約束をしないと、企業は拠点に参画できません。すべての企業の社長さんに会いに行き、拠点研究のメリットを真剣に訴えました。価値観や製品分野が異なる企業を本当にまとめるか、当初は不安もありました」と振り返る。とりわけ、知的財産の扱いが障壁となった。各企業の技術やノウハウは企業秘密になっている。それを明らかにすることには大きな抵抗があり、検討会を開いても、他の企業を意識するあまり、ぎくしゃくして議論が進まない。

そこで福田さんと、副拠点長であった近藤昭彦さんが、共同研究で得た特許などの知的財産を共有するためのシステム改革を進めつつ、お互いの信頼関係を深め、価値観を共有することに努めた。

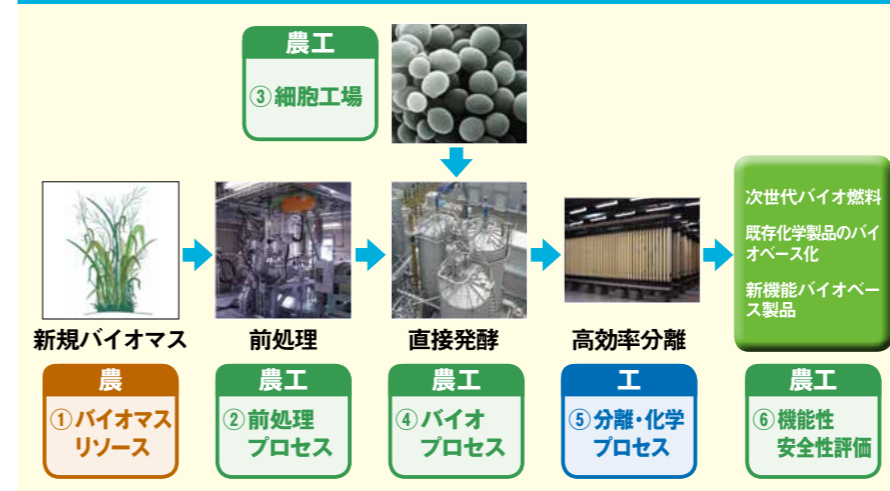
「企業も次世代の製品開発事業を育てたいからこそ、拠点に参画しているのです。そのためには、壁を破らなければ効率もスピードも上がらない。大学は産業界を結びつけるリサーチハブだから、『産産学』や『産産』の連携が進むように技術や場所を率先して提供する姿勢を前面に押し出しました」と福田さん。

大学としては珍しく、神戸大にはエタノール発酵の大型パイロットプラントを揃えた施設があり、参画している企業もこのプラントを利用して製品化レベルの技術開発に取り組むことができる。

事業開始から3年後には、企業から積極的に物質名や技術内容を明かして共有したいとの申し出があった。拠点内に限定したものの、知的財産を共同で利用できる体制が築かれた。

「それまでの企業の論理からすると考えられない動きです」と福田さんは驚いた。近藤さんも「大学からではなく、企業から言い出してくれました。特に異なる業種の企業と大学との

図2 6つのコア技術と一貫バイオプロセス



近藤 昭彦 (こんどう あきひこ)

神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科長

1988年、京都大学大学院工学研究科博士課程単位取得満期退学。九州工業大学助教授、神戸大学工学部教授および統合バイオリファインリーセンター長を経て、16年より現職。08年～15年まで「バイオプロダクション次世代農工連携拠点」副拠点長、15年より同拠点長。



産産学の連携が進みました。各社が役割分担しながら、研究成果の製品化や事業化を試みているが、融合領域が広いので社会展開がたいへんです」と嬉しい悲鳴を上げる。

バイオ拠点の火を消すな

「産産学」連携が軌道に乗った矢先、思いがけない試練が訪れた。先端融合プログラムでは、3年目に厳格な再審査がある。農工連携拠点はこの再審査をパスできなかったが、翌年に再提案できるチャンスが与えられた。

事業の申請から関わってきた近藤さんは、これまで再挑戦に成功した例がないことを知っていた。

「企業が研究を継続するモチベーションの低下は避けられないと覚悟しました。ところが、拠点存続の危機に直面したことで、むしろ火がついたのです。『先端融合プログラムにバイオプロダクションの拠点は重要だ』『持続可能な社会をつくる拠点は絶対に必要だ』という声湧き起こりました。福田拠点長も『やるぞ』と気合いを入れ、全社が今までよりも頻りに集まり、再提案に向けてのアイデアを出してくれました」と当時を語る。構想をより明確化させ、さらに洗練された提案書ができあがった。

1年後、農工連携拠点は見事に復活を遂げた。2度目の挑戦で再審査を通過できたのは、神戸大が唯一だ。共に危機を乗り越えた企業との結束力は一層高まり、研究交流も活発化した。製品の实用化など成果も着実に出てきている。

現在は複数の分野で物質生産に成功し、生産規模をスケールアップできる技術の確立

をめざしている。アルコールや有機酸類の生産量を数倍から数十倍以上に高めることに成功し、実用化へ着々と近づいている。

すでに商品化された機能性材料も生まれている。付加価値の高い化粧品や機能性食品は社会展開しやすい。例えば、グリコーゲンには病気に対する抵抗力や治癒力を高める作用や、食物繊維的な作用などの優れた効果がある。これまで食品からしか抽出できなかったが、酵素を用いてバイオマスを大量生産することに成功した。

2018年度のプロジェクト終了時には、全社が研究成果を生かした原料生産や製品づくりができるようにすることが目標だ。

新研究科で次世代の人材を育成

神戸大は、これまで自然科学系、社会科学系それぞれに、同じ研究棟で異分野の研究者が融合研究をする連携ラボをつくるなど、分野間の壁を取り払ってきた。

拠点開始から9年目の今年4月、先端融合の自然科学系の部局間連携をベースとして、日本初の文理融合型の独立研究科である「大



学院科学技術イノベーション研究科」を設置した。神戸大が重点4分野と位置付けるバイオプロダクション、先端膜工学、先端IT、先端医療学からの事業創造をめざし、「アントレプレナーシップ(起業家精神)」を持つ人材の育成を目的としている。

新研究科のカリキュラム構成は、福田さんと当時は研究担当理事であった武田廣さん(現学長)が中心となってデザインした。

「産学連携を積み重ねた経験や、学際融合の風通しの良さを生かし、神戸大が培ってきた技術や成果をもっと大きくしようと、大学の機能強化の一環として、この研究科をつくりました」と武田さんは語る。

拠点で融合してきたバイオプロダクションと先端膜工学を進化させることで、一貫プロセスをさらに強力に推進する。さらに、先端ITと先端医療学を新たに融合することで、ビッグデータの宝庫である複雑なバイオデータをパソコンで解析したり、バイオマス由来の機能性食品や医薬品を評価したり、拠点の研究開発を今後発展させるべき要素が盛り込まれている。これら4つの中心にあるのが「事業創造」だ。

教員は、農学、工学、理学、医学の自然科学系だけでなく、神戸大が誇る経済学、経営学、法学の社会科学系が加わり、企業で活躍する最先端の技術開発者、ベンチャー・キャピタルの社長や知的財産法の専門弁護士など実務家の教員もいる。

「新しい技術を事業化して社会に出せるイノベーションを、自ら創出できる力を持った人材が必要です。学生は、先端研究の成果とその事業化プランを修士論文にまとめます。カ

リキュラムはハードですが、次世代を担うプロフェSSIONナルに育てほしい」と同研究科長に就任した近藤さん。

神戸大の挑戦を世界へ

「神戸大には社会貢献の伝統があります。学際領域における研究能力だけでなく、ビジネスに不可欠な市場開拓能力やマネジメント力、知財など、研究成果の事業化以降のプロセスをデザインする能力や起業家精神を兼ね備えた人材を養成します。他の大学には真似できない、ユニークな人材を輩出することで先駆的な役割を果たしたい」と武田さんは意気込む。

今年1月、学長の主導で、新研究科の関係者が共同出資して「株式会社 科学技術アントレプレナーシップ」を設立した。神戸大で生まれた研究成果を事業化するベンチャー企業に対して、会社設立や市場調査、事業計画書作成の費用を出資するとともに、財務や知財戦略の指導や助言を行う。外部からの本格的な資金調達を実現し、一刻も早く新しい技術を社会に出していくことが狙いだ。新研究科という教育研究機関とともに、事業創造の成功確率を飛躍的に向上させるものと期待される。

「文理融合は今までも試されてきましたが、まだ成功例が見えていません。どのような取り組みを入れたらうまくいくのか試行錯誤が続いています。新研究科に重点4分野研究を投入し、出てきたシーズを社会に出すところまで、神戸大は自らの手でやろうとしています。成功すれば、その波及効果は計り知れません。先端研究と文理融合研究から多くの成功例を出して、世界で戦える大学にしたいのです」。武田さんの固い決意のもと、神戸大の挑戦は続く。

バイオプロダクション次世代農工連携拠点の研究成果



次世代燃料・化成品原料

旭化成、日本触媒

バイオ生産によるアルコール類、ジオール類を基礎化学品として、4種類の化合物の生産に成功し、スケールアップを進めている。ある化合物の生産性は40倍以上向上した。実用化に向けて、90リットル規模の製造実験をしている。

バイオフィンケミカル

江崎グリコ、カネカ、月桂冠、長瀬産業、フジッコ

機能性糖質、有用イノシトール、機能性ペプチド、機能性リン脂質などから、10種類の化合物の生産に成功した。ある化合物では900リットル規模のスケールアップ技術を確立した。医学部の協力のもと抗肥満、保湿、細胞活性化作用と安全性を確認し、江崎グリコ(株)よりバイオマス由来のグリコーゲンを配合した化粧品「gg」が商品化された(写真右)。(写真提供:江崎グリコ)



酵素交換で生まれた大豆由来の機能性リン脂質。美容と健康に役立つ。(写真提供:長瀬産業)

バイオプラスチック・バイオ繊維

ダイセル、帝人、Bio-energy、三井化学
プラスチックや化学繊維の原料となる有機酸、ジアミン類、アミノ酸類、芳香族系化合物を基礎化学品に選定し、省エネルギーかつ環境調和型の合成技術を開発している。9種類の化合物の生産に成功し、スケールアップを進めている。ある化合物の生産性は15倍以上向上した。



セルロース資源からエタノールを生産するパイロットスケールのバイオリクター(写真提供:Bio-energy)

基盤技術開発

旭化成、月桂冠、長瀬産業、日東電工、日本製紙、Bio-energy

神戸大が培ってきたコア技術のうち、バイオマス生産、前処理技術、膜プロセスなど、一貫バイオプロセスの構築に必要な製品群の実用化をめざす。



膜分離技術でバイオプロセスを低エネルギー化(写真提供:日東電工)

異分野の精鋭



大学院工学研究科 篠野 千秋 准教授

近藤先生とともに申請段階から拠点形成に関わってきました。専門分野はバイオマスの前処理や、**放線菌の育種**です。産学連携で食品用の酵素生産技術を開発した経験を生かして、拠点では製紙メーカー、化学商社、そして酒造メーカーなどと共同して研究を進めています。



大学院科学技術イノベーション研究科 蓮沼 誠久 教授

細胞の中に含まれる**代謝化合物変化の解析**を研究しています。細胞内の数百種類の化合物を網羅的に測定する技術を活用して、細胞の機能を評価し、有用物質を効率的に生産する微生物などを育て、細胞工場の開発に生かしています。

大学院科学技術イノベーション研究科 石井 純 准教授

微生物の遺伝子を組み換え、細胞工場で**スーパー微生物**をつくる研究をしています。エタノールを効率良く生産する株を育てるだけでなく、細胞内の代謝機能を改変することで、優れたアルコール燃料や機能性材料を生産する研究(細胞工場の開発)をしています。



大学院科学技術イノベーション研究科 西田 敬二 特命准教授

バイオマスから有用物質生産に適した機能を持つ**微生物を精密につくる**研究を行い、細胞工場の開発に生かしています。具体的には、乳酸菌や大腸菌などに目的遺伝子を精密に導入して人工微生物をつくり、バイオプラスチックの原料となる乳酸、アミノ酸、そして有機酸などを生産する技術に挑戦しています。