



## 巻頭寄稿文

# 3D フードプリンター開発を通して初めて分かった 10 の気付き

やわらか 3D 共創コンソーシアム 会長  
ソフト&ウェットマター工学研究室 SWEL 代表  
やわらかサイエンティスト  
山形大学 工学部 教授

古川 英光

フードテックブームが到来し、私たちがソフトマター研究の一環として進めていた、3D フードプリンターの研究開発に注目が集まっている。3D フードプリンター開発を通して初めて分かったことを紹介しつつ、それをものづくり一般に適用するとしたらどうなるかについて考えたい。

## 1. イベント・ドリブン・イノベーション

3D フードプリンターの研究を始めたのは 2012 年からだが、最初の頃は全く注目されなかった。講演会などでは見た目の悪い病院食の改善ができるということをよく発表していた。そこで賛同が得られることはあっても本当にそれを大事なことからメディアに取り上げてもらえることはなかった。

2018 年に「やわらか 3D 共創コンソーシアム」(<https://soft3d-c.jp/>)を立ち上げた時に食品系の企業の研究者の中には、3D フードプリンターの可能性を信じて、コンソーシアムで 3D フードプリンターの研究を進める食品部会へ参加して下さるありがたいケースが発生した。

しかし、それも特に大きな動きになることもなく地道に研究開発を進めていっていたが 2020 年頃からフードテックブームに火がついて突然 3D フードプリ

ンターに注目が集まるようになってきた。

特にテレビの取材に対しては実際に 3D フードプリンターが動く様子だけでなく出力される食品の見た目の美しさや食べたときのおいしさまでも映像として取りたいというニーズが発生した。

それまでは研究として 3D フードプリンターの性能評価するためにどれだけ細かい線が造れるかとか、どれくらい高く正確に積み上げられるか、ということを実験するために単純な直方体や円柱などの造形が多かった

最初のテレビ取材ではブロックを積み上げてさくらんぼの形にしたり、おにぎりの形を作ったりしてみたりしていた。

朝日新聞GLOBEの 2022 年 4 月 17 日号に 3D フードプリンターで作ったお寿司をカラー写真で載せたいという話が持ち込まれ、いよいよ複数の寿司ネタを 3D フードプリンターで作る挑戦が始まった。

この時、初めて 5 貫の寿司ネタを 3D フードプリンターで作ることが起きた。

その写真を見て今度はテレビ局が美味しい食べ物造形している様子を撮影したいということになり、見た目の美しいプリプリとした日々を作ることになった。

そしてさらにそれを実際に試食している場面をテレビに映したいとか、屋外のイベントでもたくさんの種類の寿司ネタを展示したいという話があり、我々の寿司ネタを作る技術がどんどんと向上して行った。

工学部における 3D フードプリンティングの技術開発だけでは、造形制度の向上やさまざまな固さ柔らかさを作り出すことはできても、外見のおいしい食べ物を作ったり美味しくしたりということはできなかった。

3D フードプリンティングという基礎的な技術装置があることはもちろん大切だが、それで人が食べるおいしい食べ物を本当に作ろうとしたときには工学部だけの考えだけではそもそも研究が進まない。

何かメディアに取材されるとか展示会に出るといふとかそういったイベントがきっかけとなって 3D フードプリンターで食べられるものの研究開発が一気に進むという事例は非常に大事だという風に考えるようになった。



図 1 3D フードプリンターで作ったエビ寿司  
(お米の部分は本物)

## 2. 健康、アレルギー対策、ビーガン、ハラル

3D フードプリンターの特徴としてユーザーに合わ

せて食品をカスタマイズできるということがある。

私自身が甲殻類アレルギーでエビやカニを食べられないことから寿司ネタを 3D フードプリンターで作るときにエビやカニを使わずにエビやカニのネタを作れないかという話になった(図 1)。

カニかまはすでに商品があるので、ここで対象となったのはエビである。エビを使わずにエビを作る方法の一つが水にゲル化剤を入れて固める方法だ。

どのようなエビを作るかを決めて、およその固さ柔らかさを本物に近づけようとするゲル化剤の量や溶かし方、固める時の温度などでちょうどよいものにするにはたくさんの条件出しが必要になる。

それぞれの条件がお互いに関係していて例えばゲル化剤の量を変えると固める時の温度条件を変えたりしなければならなくなる。

このように実際やってみようすると食材の分量や濃度を変えると 3D フードプリンターで造形しようとするときの条件が変わってしまって非常に厄介であることが分かった。

最初、私が 3D フードプリンターで食品に革命を起こそうと思ったときに、ユーザーの好みや健康状態アレルギーや宗教上の問題などに合わせて個別にインクを調整して作り出そうという構想を持っていたが、実際にそれをやろうとするとちょっと成分を変えただけで造形条件が変わるので相当大変なことになる。

考え方によっては溶液によく溶けるものの方が溶液の物性を変えやすい。かえて溶けないで小さい粒のまま分散している方が溶液の物性は添加量に応じて溶液粘度が単調増加するような予測できる振る舞いとなり、制御がしやすくなる。

水溶液に塩分や酸などを加えると急に固くなった

り沈殿が起きたりする。界面活性剤を添加した場合も粘性や分散状態が大きく変わることがあるし、混ぜ方によってもその効果が大きく変わってしまう。

私たちが開発を進めているレーザー方式の 3D フードプリンターの場合、溶液に溶けない成分を分散させたまま 3D 造形を進めることができ便利である。

溶液に溶けない成分を分散させたままの液体はそのまま静置すると沈殿が発生するが、レーザー式のバスタブは攪拌子で攪拌しながら造形ができるので、この沈殿の問題を回避できる。

攪拌させながらの造形はレーザー光の照射されたところが固まる時に、攪拌によって固まりやすくなったり固まりにくくなったりするような揺らぎが一層促進されることが起きるので、均一な造形がそもそも困難になるが、実際に食品を作ってみると完全に均一なものができなくてもそれなりの食感が実現できる。

実際には不均一な内部構造の方が噛んだ時に砕けやすく、またその砕け方も均一不均一によって変わるのでさまざまな食感のバリエーションを作り出すことには、不均一なものができることにも価値がある。

### 3. フードロス削減に貢献

3D フードプリンターの開発を進めていく中で気づいたのは 3D フードプリンターのインクは造形する前は液体や粉末である必要があるということだ。

生野菜や果物をそのまま使う時はミキサーで液体にしたりして使うこともあるが、そのためにも新鮮なものを用意する必要があり、また作ってからすぐに使う必要があって、大学のラボで研究を進める上ではなかなか難しいところがある。

そんな中で気づいたのが乾燥した粉末を材料に使うということである。インターネットの通信販売で調べると、今は野菜から穀物からタンパク質までさまざまな粉末状の食材を入手することができる。それらを作りたいたいものに合わせて調合して、水などの液体に溶かして食品のインクを作ると、とても簡単に便利に準備ができることが分かった。

ミキサーで液状にする場合であっても、また粉末を水に混ぜてインクを作る場合であっても、どちらにしても元の食品の形を残さずに細かくしてしまう作業が入る。

ということは元の食材の形に関係ないということなので、形が悪かったり傷が付いていたりして使われていない未利用の野菜や果物を活用できることになる。

最近では気候変動でその地方で採れなかった魚が水揚げされることがあり、名前が知られてなかったりと買い手がつかない低利用魚という扱いになる。

これについても細かく粉末にすることでインクとして使うことができるのであれば利用が進む可能性はある。

いずれにしても 3D フードプリンターには未活用の食材を適用することに向いているところがあってこれは作物を収穫したり、販売したりする時に起きていたフードロスを削減することに貢献することが分かった。

### 4. おいしい粉末が大事

もう一つ 3D フードプリンターの開発をしていて気が付いたことはおいしい食べ物を作るには美味しい食材を使うことが大事だということだ。

なぜか私も最初は少しおいしくない食材をうまく造形したり調理したりすることで、おいしくいただけるよ

うな魔法のようなことが 3D フードプリンターで可能になるようなイメージを持っていた。

しかし実際に 3D フードプリンターで食品を作ってみるとインクがおいしければできた造形物もおいしいという当たり前のことに気がついた。

3D フードプリンターを本当に実用化するにはおいしい食材をそのままおいしく調理可能な状態で、3D フードプリンターのインクとしておいしさを損なわないように提供する必要がある。

## 5. レーザー方式がブレイクスルーになる

私たちはこれまでにさまざまな方式の 3D フードプリンターの検討を進めてきている。

2012 年に初めて取り組んだ時は注射器を使ういわゆるシリンジ方式の 3D フードプリンターを開発してみたがシリンジから押し出すことのできる食材は非常に柔軟な柔らかいインクにする必要があり、またシリンジから出た直後にある程度形が保たれる、といういわゆる保形性があることが重要で、そういうインクを作ろうとすると許される粘度や適用できる材料の選択の幅がかなり限られてしまうことが分かった。

これを克服するために 2015 年に開発したのが食品を押し出す部分にスクリューを内蔵して、粘度が高いインクでも押し出すことができる方式である。高い粘度のインクを押し出すためにはスクリューを回転させる能力の高い、強いモーターを使う必要がある。

またスクリューやそれを入れる容器は丈夫で洗浄可能なステンレスで作る必要があり、重たくなったり洗う必要があったりさらにそれを三次元で動かすために装置自体も丈夫で力強いものにする必要があり、どうしても値段が高くなってしまいう傾向があった。

あるとき、3D フードプリンターの新しい方式として、液体にレーザーを当ててレーザーを当てたところだけが液体から固体に変わり、それによって食品を作るレーザー方式の 3D フードプリンターのアイデアを思いついた(図 2)。

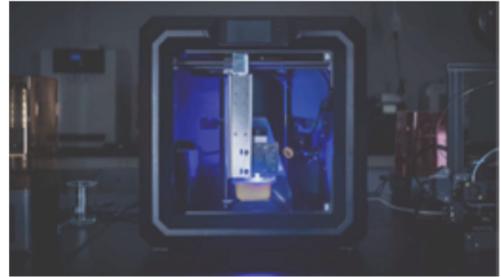


図 2 2023 年 8 月 4 日に起業した「レーザークック社」が売り出すレーザー式 3D フードプリンター LASERCOOK

レーザー方式のメリットの一つが、重くて大掛かりなスクリューを使ったり、回転したりするような機構が不要であり、装置の構成を非常に単純化できることに気がついた。

機械的な部分を減らすほどコストも下げられるし動作による不具合は起きにくくなる。

モーターやスクリューの部分だけでもスクリュー式の装置の値段の大きなウエイトを占めてしまうがこれをレーザー式にすることでそれらが不要になりその分の値段が安くなると同時に機械部分の動作不良による故障のリスクを大きく下げることができる。

## 6.料理は再生できるようになると、誰もが鑑賞できる映像や音楽、動画のようなアートになる

3D フードプリンターはインクをセットして造形方法や調理方法が収められたデジタルデータを使うことで同じ料理を何回も同じように作ることを可能にする。

今でも加工食品であれば冷凍食品や缶詰などいつも同じ味を食べることはできるが、それは大量生産大量消費前提で 1 種類のものを大量に作る製造方法である。

しかし 3D フードプリンターを使って色々な食材からいろいろな料理を再現性を持って作ることができるようになると誰かが一度創り出した料理は何度でも同じように作り、味わうことが可能になる。

これはエジソンが発明した蓄音機で音楽の演奏を記録して再生できるようになったことと非常に似ている。その後、音の記録技術が大きく発展し、今や音楽ばかりでなく映像もデジタルデータに記録しておけば、いつでも再生できるので音楽や映画は大衆が楽しむことができる身近なアートになっている。

食べ物に関しては有名な料理人や有名なレストランに行かないとそのメニューはいただくことができないし、料理人が居なくなれば二度と同じ味を再現できなくなる場合もある。

3D フードプリンターが同じ料理を何度も再生できるようになると、誰もが鑑賞できる音楽や動画と同様に、料理も誰もが楽しむことができるアートの一つになるということに気が付いた。

## 7.3D フードプリンターは介護食や病院食で役立つ

2020 年頃から始まったフードテックブームで私たちが取り組んできた 3D フードプリンターがメディアでも取り上げられ露出が多くなったことで、介護食の抱える問題に 3D フードプリンターを使ってみたいというリクエストが直接来るようになった(図 3)。



図 3 ブロッコリーの粉末から再生され、介護食への適用を目指す、3D フードプリンターで作った介護食モデル(ブロッコリー)。試食会を宮城セントラルキッチン様で 2023 年 6 月 22 日に実施した時に撮影。

よく話を聞いてみるとそこにあるのは介護食や病院食における保険の金額の問題で、限られた予算で、介護食を提供する必要があるのだ。

様々な工夫や合理化によって限られた予算での介護食の提供はこれまで何とか行われて来ていたが、今問題になっているのは個人個人の状態に対応するための介護食や病院食を準備して欲しいというニーズが高まっているという問題である。

個人個人に合わせるということは個人個人に合わせて一つずつ調理をする必要があるということである。

今、給食センターでは実際に介護の現場や病院

の現場からのニーズに応じてきめ細かな作り分けを行っているのだが、そこは経営的には既に相当に厳しいことになっているのだ。きめ細かく対応すればするほど利益率が下がり、場合によっては赤字になってしまっている。

そのような中で、3Dフードプリンターで個人個人に対応した食べ物を自動的に低価格で提供することができないかという相談なのだ。

これは単純に3Dフードプリンターで柔らかい食べ物を作ると介護食になるから使いたいというようなことではなく、現場で起きている非常に厳しい経営的な問題に個別に自動的に食べ物を作ることができる、デジタル製造機器としての3Dフードプリンターを活用してみたいというニーズである。

この相談に対応するには上述したように個別に対応してインクを準備したり、その造形方法を個別に最適化したりして3Dフードプリンターを制御する必要があったり、簡単ではない課題が数多くある。

しかし今後の要介護人口の増加(私もそこに含まれる!)や、同時に進む人手不足の問題は、私たちが早急に解決しなければならない不可避の課題であり、難しくても取り組んでいく必要があると思うようになった。

## 8. いろいろな道のプロとの共創が有効

3Dフードプリンターの開発を進めていく中で様々な出会いがありそれがコンテンツ開発にたくさんのブレイクスルーをもたらしてきた。

2018年に米国で開催されたイベント(SXSW; サウス・バイ・サウスウエスト)に3Dフードプリンターの出展をした時にはたくさんの投資家に注目してもらうためにそれまで開発を進めていた「おでん」ではなく、海外でも通用する「寿司」を選んだり、3Dフードプリンターの外見を良くするために見栄えのする銀ピカロボットを使ったり、分かりやすいコンセプトを提示するプロモーション動画(「寿司テレポーテーション」というタイトルでYouTubeにて公開)を作ったりして、展示は大成功に終わった。

その時に大学の工学部の力だけでは、到底できない成果がいろいろな道のプロとの共創から生まれたことに気づき、「やわらか3D共創コンソーシアム」を設立した。

このような取り組みを展開したことで、食材を扱っている企業様や食品の加工や保存に詳しい企業様、またユーザーに提供するおいしいメニューを開発することに精通している企業様などと、横断的な共創が生まれ、3Dフードプリンターで、ユーザーに提供可能なおいしい食べ物を作ることができ始めている。

また最近では、京都で実食のイベント「2100年 火星の懐石」の開催に成功したが、その時には京都の料理人の観衆によって3Dフードプリンターで作った食べ物が見違えるほどおいしく感動を与える食べ物に変わっていくことを経験した(図4)。



図 4 2023 年 8 月 5,6 日、京都の町家で開催された「2100 年 火星の懐石」で提供された 10 品の中の一つ、最先端のテクノロジーが凝縮された「雲丹(うに)と長芋 山葵(わさび)ジュレ」。京都の料理人の酒井研野氏、フードテッククリエイターの榎良祐氏らとのコラボレーションによる一品。写真撮影は山神美琴氏。

3D フードプリンターのようなデジタル製造機器はそのポテンシャルによってさまざまなことができそうに思えるが、何でもできるというのは何もできないことと同じである。

何でもできることを全て高いレベルで実現するにはそれぞれにおいてトップのプレイヤーと連携する必要があるのだ。

## 9. 未利用食材の活用に加えて、冷熱エネルギーの活用も検討

3D フードプリンターの開発が進み、いよいよこれを事業化しようという構想に近づいたとき、3D フードプリンターのインクの方法はどこから調達するのかということが問題になってきた。

今、世界では 2040 年にたんぱく質が不足するという食糧危機の問題を抱えている。また気候変動で食材の入手が困難になっていたり戦争などが起きることによっても食材の価格が大きく変動したりして、食料

の安全保障についての懸念が顕在化し始めた。

ところで私が考える 3D フードプリンターの使い方は、既にあるおいしい料理や加工食品に対抗するようなものではない。

ベンチマークはカップ麺だ。カップ麺はそれが世界的に普及しても既存のラーメン屋は共存しているし、むしろラーメンの認知度は世界に広がりラーメン屋の海外進出が進んでいる程だ。

3D フードプリンターが作る料理はラーメンに対するカップ麺のように、これまでにない新しい食品を創造できた時に、初めてその価値が大きく高まると考えている。

そういう出口に対して、未利用や低利用の食材を活かして、まずは国内から 3D フードプリンターのインクの自給を目指す構想だ。

非常に美味しい食品のインクを作るために、低温凍結粉碎という方法に着目している。レモンや梅を取獲して、すぐに冷凍しそれを液体窒素で凍結させ粉碎し低温のままアルコールでおいしさを抽出することにより、非常においしい飲料が開発され販売されているという先行例がある。

この低温凍結粉碎技術のもう一つの優れた点が、海外から輸入される液化天然ガスの $-162^{\circ}\text{C}$ の冷熱を上手く活用して $-196^{\circ}\text{C}$ の液体窒素を二酸化炭素の排出量を減らしながら製造し、それによって冷熱を無駄なく活用し、おいしい粉末を得ている点だ。

食品の安定供給を進める上でそもそも食品の調達が難しくなっている大きな一つの要因が地球の温暖化による気候変動の影響であり、今後は食品の調達においては地球の温暖化を軽減する方法での食品調達がマストになってくる。

このような流れの中で私たちは未利用食材の活用と冷熱の有効活用の両方の同時活用を狙い、新

な国家プロジェクトをスタートしている(図5)。

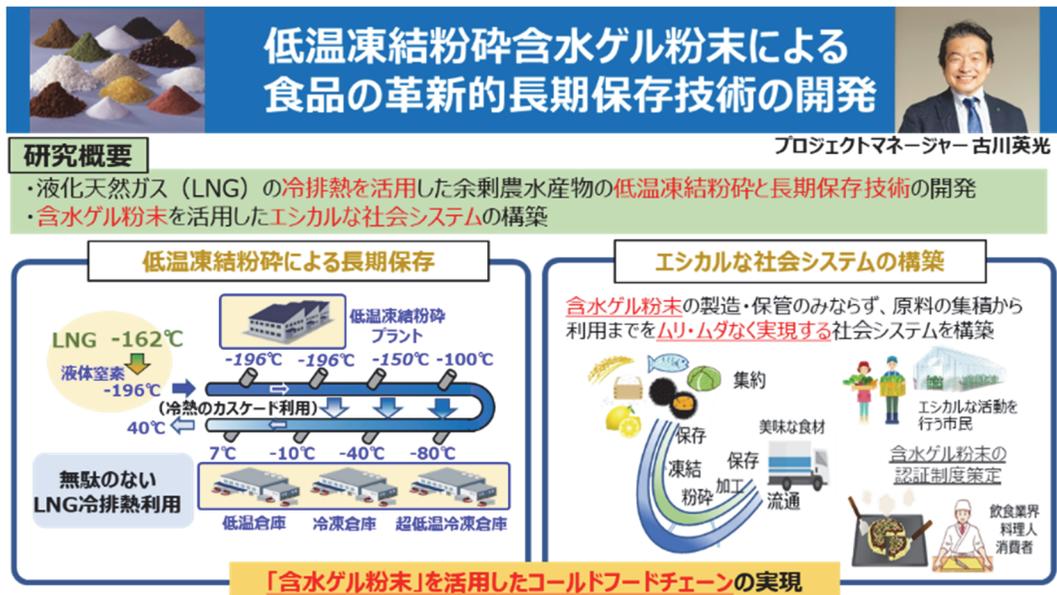


図 5 ムーンショット農林水産研究開発事業で進める、おいしい食品ゲル粉末の研究プロジェクト

## 10. 未来にはスマート弁当箱が当たり前になる

3D フードプリンターはこれから本格的に市場投入モデルを開発し事業化を進める。

3D フードプリンターは、最初は食品工場や給食センターに導入され加工食品の製造や介護食や病院食の製造に活かされると考えている。

次のフェーズで、レストランやホテルなどの外食の厨房に導入される。その中で装置が鍛えられ技術が磨かれ、装置の性能が向上し小型化が進めば、やがてコンビニエンスストアに導入される未来を考えている。

そのような段階になったところで家庭への導入が進むだろうが、私が考えるのはさらにその先の未来で

ある。

固定電話が携帯電話になり、さらにそれがスマートフォンになったように、3D フードプリンターは最初は家庭に固定されていたとしても、そのうちモビリティの中で移動しながら使われるようになり、その先には小型化した 3D フードプリンターが弁当箱の中に内蔵され、弁当の中で食べ物が作られるスマート弁当になると考えている。

## 11. まとめ

本稿では 3D フードプリンターの開発を通じて初めて気がついたことについて紹介した。これらの事例を

3D フードプリンター開発に限らず、一般のものづくりや開発に展開して考えると次の表のようになる。

表 1 10 の気付きのものづくりへの展開

気付き	3D フードプリンターの場合	一般のものづくりや開発の場合
イベント・ドリブン・イノベーション	外部のニーズによって、苦手とする食品開発が大いに進んだ	外部のニーズを聞き、それに応えようとすることで、イノベーションが大いに加速する可能性
健康、アレルギー対策、ビーガン、ハラール	理想の実現が、予想ほど簡単では無い場合があった。普通は溶かした方がよさそうなのに、溶かさないと逆転の発想で克服。	理論的には可能でも、実際にしようとするパラメーターが多すぎるようになる時には、逆転の発想も入れてパラメーターが減る方法を探す。
フードロス削減に貢献	必要なインクを作ることがフードロス削減に直結。	具体的に新しいものづくりを始めてみると、アップサイクルにつながる可能性。
おいしい粉末が大事	なんでもおいしくできると思っていたがそんな簡単な話ではなかった。	最終製品は素材のクオリティの影響を本質的に強く受ける。良い素材からは良い製品ができる。
レーザー方式がブレイクスルー	製造方式を大きく変えることで、コストダウン。	製造方法の革新は常に大事。できそうだと思ったらまずはトライしてみる。
料理が再生できるとアートになる	3D フードプリンターは自動化だけでなく個別化や再現性に直結する。	デジタル製造により、個別対応のコストが下げられたり、技術伝承にかかるコストが大幅に下げられたりする可能性。
介護食や病院食からのニーズがあった	限られた保険料の中で個別化対応で赤字が進む中、3D フードプリンターの個別対応の自動化に着目。	限られた予算の中で工数が増えつつある時に、デジタル製造の自動化や個別対応可能な性質が、解決策になりうる。
いろいろな道のプロとの共創が大事	3D フードプリンターの性能アップだけでは、認知度を高めたり、おいしい料理を作ったりすることができなかった。分野融合には共創が大事。	開発者はマーケティングやコンテンツ開発が苦手。共創による win-win 関係の新規構築と拡大が大事。
冷熱エネルギーの利活用にもなる	食材の調達において低炭素への貢献の可能性が見出された。	良い素材の調達を考えると、そこに低炭素化につながるヒントがある可能性。
スマート弁当が当たり前になる	新しい技術の継続的イノベーションは止まらない。	ものづくりに置いて常に見据えて常に次の開発を進める必要性。

何事もやってみなければ分からないと言うが、やはり 3D フードプリンターの場合でも、本当に開発を進めてみて当初考えていたこと予想していたこととは違うところに課題があったり、解決方法が見つかったりしてきた。その時、大事だったのは、新しいことに挑戦するときは分からないことばかりなので素直に教えるを乞うことと、実現したいという信念を持ち続けることであった。まだ道半ばだが、3Dフードプリンターの社会実装の実現に向けて取り組みを続ける。

## 謝辞

本稿で紹介した研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01224 、 JP18H05471 、 JP19H01122 、 JP21H04936、JP21K14040、JST COI JPMJCE1314、JST OPERA JPMJOP1844、JST OPERA JPMJOP1614、ムーンショット農林水産研究開発事業 (MS508, MS511)、内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期 / フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」、「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 3 期 / バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備」、「NEDO 先導研究プログラム / 新技術先導研究プログラム」のうち「マテリアル・バイオ革新技術先導研究プログラム」、「官民による若手研究者発掘支援事業」(管理法人:NEDO) 等によって支援を受けたものである。