音波利用研究会報告

大川原　真*　種村　竜太*　吉田　正樹*　長谷川　直樹*　木嶋　祐太**

Report of Market and Technology Trends of Sound Wave

OKAWARA Makoto*, TANEMURA Ryouta*, YOSHIDA Masaki*, HASEGAWA Naoki* and KIJIMA Yuta**

1.　緒　　言

音波を利用した技術の応用事例は非常に多岐に渡っており，今後も付加価値の高い応用技術が生まれる可能性が高い分野である。その中でも，特に 2 つの技術が最近注目され始めている。1 つは，形状が崩れやすい物（液滴，粉体など），毒物や汚染したくない物などの触りたくない物の搬送や混合に応用が期待されている「非接触マニピュレーション技術（図 1）」。もう 1 つは，現在，ハチを利用したイチゴの授粉において課題である天候等の外部環境に影響され難く，安定した授粉が得られる「人工授粉技術」である。本調査研究ではこれら 2 つの技術に着目して調査研究を実施し，新潟発の独自の製品開発の基礎となる要素技術の確立を目的とした。

2.　活動概要

2.1　研究会の開催

超音波アレーを用いた集束超音波による非接触作用力の応用事例について，触れる空中映像や空中インターフェース，薄膜上の静電分布の計測技術，イチゴなどの人工授粉技術，シャボン膜を用いた超薄膜ディスプレー，微小物体の 3 次元浮遊制御，空中グラフィクスなどを県内企業へ情報提供するセミナーを開催し（表 1），その中で参加者とのディスカッションを行い，県内企業のニーズや課題などの調査を行った。

実施したセミナーは，要素技術的な内容が主であり具体的な製品開発に直接結びつき難いテーマであったためか参加企業は少なかったが，参加者からはおおむね好評であった。

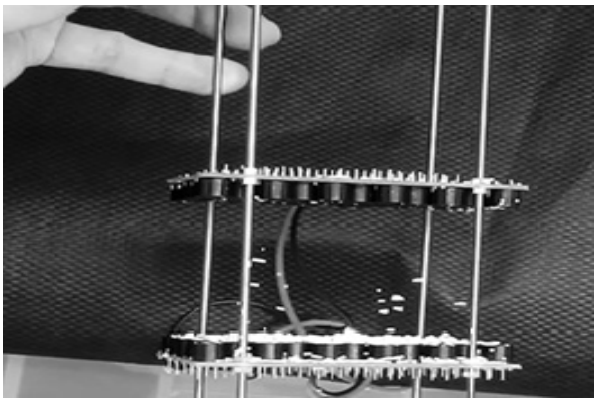

図 1　非接触マニピュレーション技術

表 1　研究会活動

	内　容
第 1 回 セミナー (H26.11.4)	「超音波を利用した先端研究」 ～集束超音波による非接触作用力の応用展開について～ 名古屋工業大学 若手研究イノベータ養成センター テニュア・トラック助教 星　貴之　氏

また，本セミナーを通して企業と人工授粉装置の共同研究開発に向けて情報交換を行うことができた。

2.2　市場や研究動向、県内企業の動き

(1) 非接触マニピュレーション技術

本技術は基礎研究段階のため，関連学会である日本音響学会において，当該技術に関する調査を実施した。その結果を以下に記す。

*　下越技術支援センター
**　中越技術支援センター

創薬，バイオ研究の分野において，非接触で試料を取り扱う技術（打上げ，移動，混合など）が期待されており，試料の打上げ技術について、田中ら[1]はマイクロウェル内の任意の位置にある液体を任意の量だけ，非接触で打ち上げる手法を検討している。入力源として凹面集束振動子による基本周波数 2MHz の超音波にて形成される包絡線状のバースト波を用いる。バースト波の印加時間は 4～10ms にて，液滴の体積は 1.5μl 程度，液滴の打上げ高さは 20～100mm であった。液滴が打ち上げられるメカニズムや試験条件と液滴の打上げ高さや体積との関係性については不明な点が多く，今後の研究課題である。

試料の移動・混合技術について，中村ら[2]は振動子 1 枚と反射板 2 枚を用いたシミュレーションによる実験パラメーターの設計，及び，実証実験を行っており，振動子の上部に 2 枚の反射板を反射板間 6mm 程度のギャップを持って設置し，振動子と各反射板との間に水滴を浮揚させ，反射板間ギャップを 1mm 以下に接近させると，2 つの液滴の移動と混合が可能であることを確認している。

(2)人工授粉技術

梨，もも，キウイ等に対する人工授粉装置は既に市販されており，その受粉方法は，あらかじめ収集された花粉，もしくは花粉を溶液に分散した状態で噴霧したり，雌しべとの直接接触式となっている。一方，花粉の収集が非常に難しいイチゴやトマトについては家庭菜園向けを除き，生産者向けの授粉装置は研究段階にある。朴ら[3]は超音波アレースピーカーによる集束超音波を用いた人工授粉の研究を行っており，花の共振周波数に合わせた音波を花に照射する方法を用いており，イチゴについては，果実の重量や形状を考慮した収穫率は 9 割程度を得ている。しかしながら，音波の照射範囲が狭いなどの課題がある。

果樹用の人工授粉装置を開発販売しており，新たな植物に対応した人工授粉装置の開発に興味がある県内企業がある。また，イチゴの植物工場生産に取り組み始めている企業もあり，今後も増加すると思われる。

3. 工業技術総合研究所の取り組み

非接触マニピュレーション技術に関する基礎実験，およびイチゴの人工授粉実験を実施し，特に後者については実際に育苗したイチゴに対して人工授粉を施し，収穫した果実形状から効果確認を実施した。以下にそれらの結果を記す。

3.1 非接触マニピュレーション実験

超音波アレーの市販キット（秋月電子通商製）を音源に用いて，発泡ポリスチレン（MOGU 補充用パウダービーズ，粒子径約 1mm）の空中浮揚，および非接触マニピュレーション実験を行った。実験の様子を図 1 に示す。星[4]によると浮遊物体は定在波の節に捕えられる。そこで，2 枚のアレースピーカーを対向配置して定在波を形成した。定在波を確認するため，事前に可視化実験を行った。ポリスチレン粒子を容器に入れ，容器底面にスピーカーキットを置き，音波を放射すると，図 2 のように定在波の節に相当する領域にポリスチレン粒子が集合し，網目上の模様が形成されていることがわかる。スピーカーからは約 40kHz の超音波が放射されているため，常温（20 ℃）では定在波の節間ピッチは約 4mm（=343m/s÷40kHz×1/2 波長）となる。刷毛

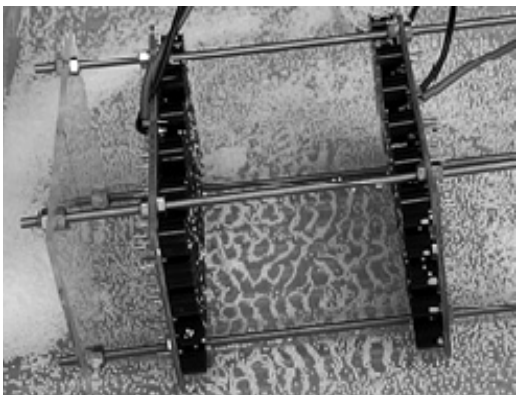

図 2 定在波の可視化

などでポリスチレン粒子を定在波部まで運び，浮揚させる。その状態で，スピーカーキット全体を手で多少揺動しても，ポリスチレン粒子は落下することがなく、非接触にて任意の位置に粒子を移動することができる。浮揚可能な物体の質量は，超音波素子を 285 個程度用いると，最大 1.1g 程度までという報告もある [5]。実用化おける課題として，市場ニーズの探索などにより，マニピュレートする対象を明確にし，対象に応じた操作パラメータの設計，最適化が必要である。

3.2　人工授粉実験

市販のオーディオスピーカー部品などを利用して試験機を作製し，実際に育苗したイチゴに対して人工授粉を行い，授粉に最適な試験条件の探索と効果検証を行った。図 3 に授粉実験の様子を示す。種々の試験条件（音波の周波数，音圧レベル，音波照射方向など）にて授粉を施し，収穫された果実形状から商品果率（＝出荷可能な果実形状数/収穫数）を算出した。その結果，試験条件によっては 8 割程度の商品果率が得られることを確認した。今後は商品果率向上や授粉作業の高効率化に向けた取組みを行いたい。

4. 結　　言

(1) 「音波利用研究会」を立ち上げ，セミナーを開催した。本セミナーをとおして集束超音波アレーの要素技術や応用事例に関する情報提供を行った。参加企業は少なかったが，先端技術に触れる機会となり，また，人工授粉装置の共同研究の見込める県内企業との情報交換を行うことができた。

(2) 非接触マニピュレーション技術は，具体的な市場規模やニーズが明確でなく，要素技術として研究段階にあるため，ニーズ，市場規模の探索調査が必要である。

(3) 人工授粉技術，特にイチゴをターゲットとした技術については研究レベルの技術であり，昨今の食の安全安心ニーズの観点も踏まえ，植物工場型の生産にも対応できれば，高付加価値を生む技術と思われる。

図 3　授粉試験の様子

(4) 非接触マニピュレーション技術に関して簡易実験を行い，要素技術の原理や課題を確認することができた。

(5) 人工授粉技術に関して，音波を利用した授粉実験を実施し，授粉に必要な種々のパラメータを得ると共に，機器開発における技術課題を明確化することができた。

参考文献

1) 田中広樹ら，“MHz 帯集束超音波による液滴の打上げ”，日本音響学会 2013 年秋季研究発表会　講演論文集，pp94.

2) 中村良平ら，“複数反射板の位置操作による混合”，日本音響学会 2013 年秋季研究発表会　講演論文集，pp93.

3) 朴　宰億、中村謙治、星貴之、清水浩，“超音波によるイチゴの人工授粉装置の開発”，日本生物環境工学会 2013 年大会　講演論文要旨，2013，pp154-155.

4) Takayuki Hoshi et al，“Three-dimensional noncontact manipulation by opposite ultrasonic phased arrays”, *Jpn.J.Appl.Phys*. 53, 07KE07, 2014,1-6

5) Yoichi Ochiai et al，“Piwie Dust:Graphics Generated by Levitated and Animated Objects in Computational Acoustic-Potental Field”，*ACM Transaction on Graphics*, Vol. 33, No.4, Article 85, July 2014

Ⅳ　資　　料

「図」および「表」の再掲（抜粋）

Ⅲ 調査・報告

7. 音波利用研究会報告

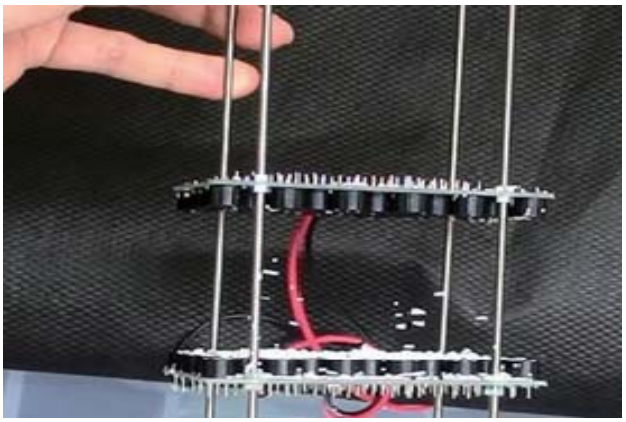

図1　非接触マニピュレーション技術
（85ページ）

図2　定在波の可視化
（86ページ）

図3　授粉試験の様子
（87ページ）