

# 植物工場にも適用可能な野菜栽培システムの実用化

秋田宏行\*・谷口裕史\*

ハザマでは、2005年より、土木・建築事業の技術を活かせる新たな事業領域の拡大や本業の営業ツールとなるべく分野を模索する中で「農業」分野に注目し、様々な農業に関する情報を収集してきた。その中で、茨城県農業総合センター園芸研究所が開発したマット給液栽培技術を用いたレタスなどの葉菜類の栽培システムの有効性に着目し、2007年4月より園芸研究所の施設を用いて技術の習得を開始し、2008年より茨城県との共同研究を行い栽培システムの開発を進めてきた。今般、一般農家はもとより、非農業分野の企業が農業分野への進出を可能とする「誰もが、安全で安心なおいしい野菜をつくる」ことができる野菜の栽培システムを実用化し、三菱農機（株）より販売を開始した。

キーワード：農業、植物工場、養液栽培、マット給液栽培、液肥作成システム

## 1. はじめに

ここ数年、「食料・水・エネルギー」といった生活の基盤に対する人々の関心が年を追うごとに高まってきている。特に「食」に関しては、食料自給率の向上や食の安全性の問題、高齢化する農家の人手不足と企業参入の障壁の緩和など、「農」を巡る動向からビジネスとしての「農業」の可能性が注目を集めている。

このような背景をもとに、ハザマは農業を将来性のある事業分野としてとらえ、新たな取り組みを始めた。具体的には、茨城県農業総合センター園芸研究所野菜研究室（以下「園研」と呼ぶ）と連携し、2007年4月より野菜の栽培技術の確立を図ってきた。

園研では環境負荷の少ない水耕栽培システム（マット給液栽培システム<sup>1)</sup>）を開発し、試作機による試験栽培を実施してきたが、農家や農業分野への進出を考えている一般企業などが実際にシステムを利用するにあたっては、システムの改良を踏まえた実用に耐える製品が必要であった。そこで、システム開発担当者のノウハウを集約し、システムの実用化を図った。本研究では、このシステムの概要を示すとともに、試験栽培結果についてまとめるものとする。

## 2. 養液栽培のシステム

野菜の養液栽培システムには、「湛液型水耕」、「NFT」、「毛管式水耕」など、様々な方法が提案、実用化されており、その概要について紹介する。<sup>2),3)</sup>

- ・湛液型水耕：一般的な養液栽培システム。液肥タンク

クおよび栽培ベンチに湛えた多量の液肥をポンプにより循環させ、植物の根に養分を供給する方式などがある。循環系の途中に曝気装置を設けることより

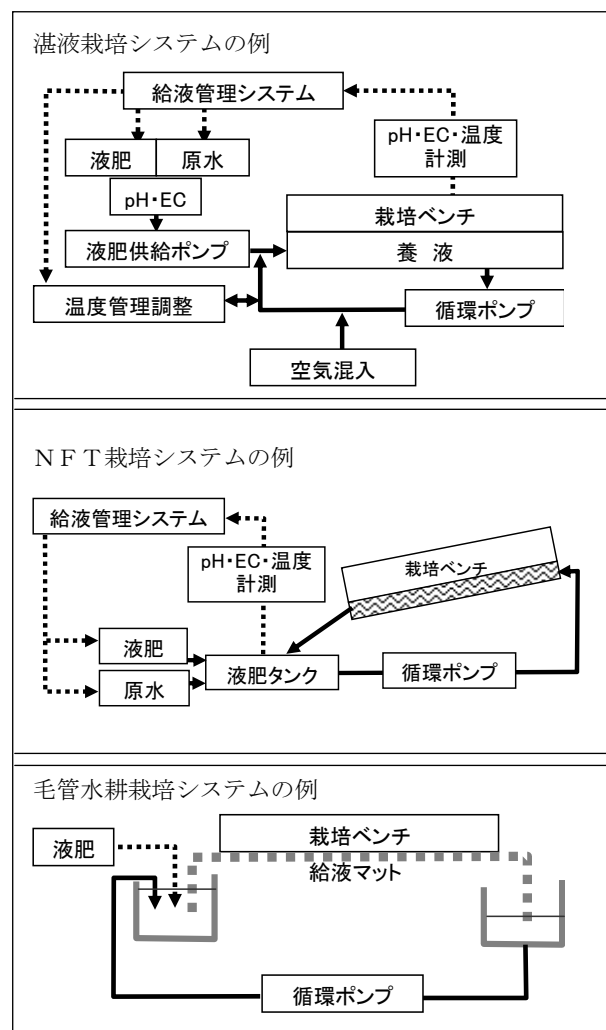


図-1 水耕栽培システムの方式例

\* 技術研究所

植物に酸素を送り込む等の特徴がある。

- ・ N F T : Nutrient Film Technique (培養液薄膜法)。発砲スチロール等でできた栽培ベンチにビニールシートを袋状に敷設し、傾斜をつけて設置し、上方から液肥を流下させ、植物に供給するなどの方法がある。水流の深度が浅く、根の多くが大気にさらされるため、根に対して酸素補給が十分に行われる。
- ・ 毛管式水耕：植物の毛管吸引の原理を利用した栽培方法。様々な方式が開発されているが、その一例として、液肥を湛えたタンク等から給液マットを用いて液肥を吸い上げ、そのマット上においた植物に液肥を供給する方法である。

### 3. 園研式マット給液栽培システム

園研では、毛管水耕栽培システムの原理を用いたマット給液栽培方法のシステムを開発している<sup>1)</sup>。本システムには、以下の様な特徴がある。(以下、開発したシステムを「園研式栽培システム」と呼ぶ)

- ・「養液の廃液が少ないことにより環境負荷を低減できる」
- ・「大がかりなプール設備(貯水槽)が不要であるため、システム全体の重量が軽減できる」
- ・「停電等により一時的に液肥の供給が停止するトラブルが発生しても、マットが湿潤な状態であるために短期間であれば(マットが乾くまでは)、野菜の生育に影響を与えない」
- ・「根域に培養土利用することにより根付きのまま鮮度のよい野菜を提供できる」

さらに、本システムは、従来のマット給液方法では、給水方向が一方であり、マット内に浸透する養液成分組成に偏りが生じること等により液肥の供給方向によって、野菜の成長が不均一になってしまう点に課題があったのに対して、液肥供給の流れを交互に切り替えることにより、給液マット上にほぼ均一な濃度の液肥を供給し、成

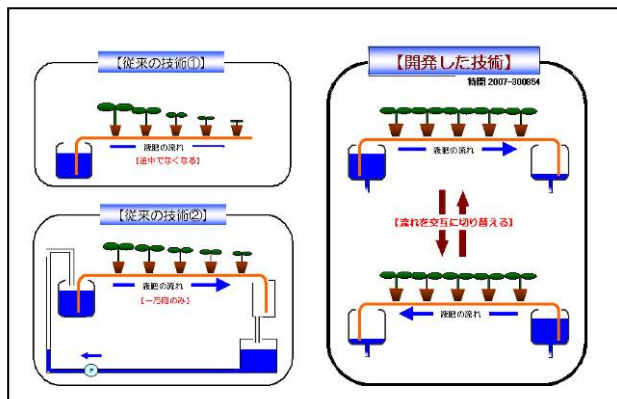


図-2 園研式マット給液栽培システムの特徴<sup>4)</sup>

長を均一化できる点が特徴であり、特許を取得している(第4195712号<sup>1)</sup>; 図-2)。

## 4. 園研式栽培システムの実用化

園研では、栽培システムの開発に伴い、試験装置による試験栽培を行っていたが、農家等に広く普及するには実用装置として耐えうるシステムに改良する必要があった。そこで、これまでの試験装置による実験結果および開発者のノウハウをもとに、実用装置の開発を行った<sup>5)</sup>。以下に開発した栽培装置のシステム構成を示す。

### 4.1 園研式栽培システムの構成

園研式栽培システムでは、栽培ベンチの両側に設置した液肥槽に貯めた液肥の水位差を利用して栽培ベンチに養液を供給する方法の特性上、複数の栽培ベンチを設置する場合、同じ高さの水平面上に敷設する必要があり、多少の誤差によっても栽培に不具合が生じる。そのため、農業用地の高さが異なる圃場や建物内に多段式に設置する場合等には、高さの異なる箇所ごとに栽培システムを一式設置する必要がある。

また、栽培に使用する液肥の品質(濃度)についても圃場ごとに異なると育成状態に差違が生じ生産物の安定供給に支障を生じることが懸念される。

そこで、本栽培システムの実用化にあたり、システムの機能別に装置を離独立させ、

- ・野菜の肥料となる液肥を作成する「①液肥作成システム」
- ・作成した液肥を野菜を栽培している栽培ベンチに送り込む「②液肥供給システム」
- ・実際に野菜を栽培する「③栽培ベンチシステム」

の3つのシステムにより構成されるシステムとした。(写真-1)

### 4.2 液肥作成システム

本栽培システムは、2種類の粉末状肥料をそれぞれ溶かし込んだ液肥の原液を作成し、栽培条件に応じて2種類の液肥を所定の割合で混合、希釈した後に、栽培ベンチに供給する方法により野菜の栽培を行う。

液肥作成システムは、

- 1) 原液作成装置(2種類の粉末状肥料を水に溶解し、原液を作成する装置)
- 2) 作成した2種類の原液を貯留するタンク
- 3) 貯留している2種類の原液を計量し、水と混合し液肥を作成、貯留する装置

の3つの装置により構成される。さらに、液肥の状態に

よって、微量元素の供給や原水の pH を調整するための装置を備え持っている。

粉末状肥料の投入等による原液の作成の過程は手作業になるが、それ以外の原液作成のための攪拌、液肥作成のための原液の計量、2 種類の原液混合動作は、プログラムによって自動で実行されるため、養液栽培経験の少ない新規就農者でも、所定濃度の液肥を容易に作成することを可能としている。

また、液肥濃度は EC 値（電気伝導度）でモニタリングしているが、季節の変動等により液肥の濃度を調整する場面が生じる。そういった状況に対応可能なように、計量装置部には液肥の濃度を容易に変更できる仕組みを設けている。

### 4.3 液肥供給システム

液肥供給システムは、以下の 2 つの装置により構成した。

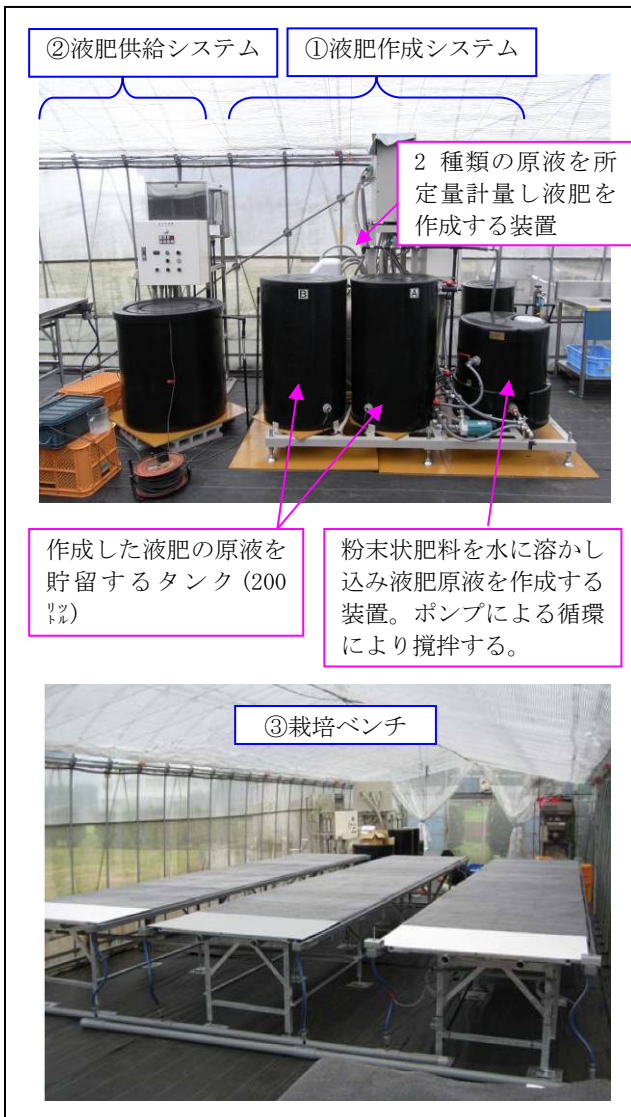


写真-1 栽培給液装置

- 1) 液肥作成システムで作成した液肥を貯留するタンク
- 2) 貯留された液肥を栽培ベンチへ供給する液肥供給装置

液肥貯留タンクにはセンサを取り付け、液肥が一定量使用され残量が少なくなると、液肥作成システムに貯留された液肥が自動的に供給される仕組みとしている。

液肥供給部は、「液肥槽から排出させる機能」とともに「栽培ベンチの液肥槽に液肥を供給する機能」、「養液槽内で液肥の濃度安定化を目的に循環させる機能」の 3 つの機能を有する。（図-3）

- 1) 栽培ベンチ上のマット排出側の液肥槽からマット給液側の液肥槽へ液肥を移動する液肥移動機能
- 2) 栽培ベンチ上のマット給液側の液肥槽へ液肥を供給する液肥供給機能
- 3) 栽培ベンチ上のマット給液側の液肥槽内の液肥を攪拌し、濃度を一定化させるための液肥循環機能

なお、液肥供給装置の各動作は、制御盤によるタイマーを用いた所定の動作プログラムにより、各部のセンサの感知に基づいて弁の開閉動作およびポンプの駆動を制御している。

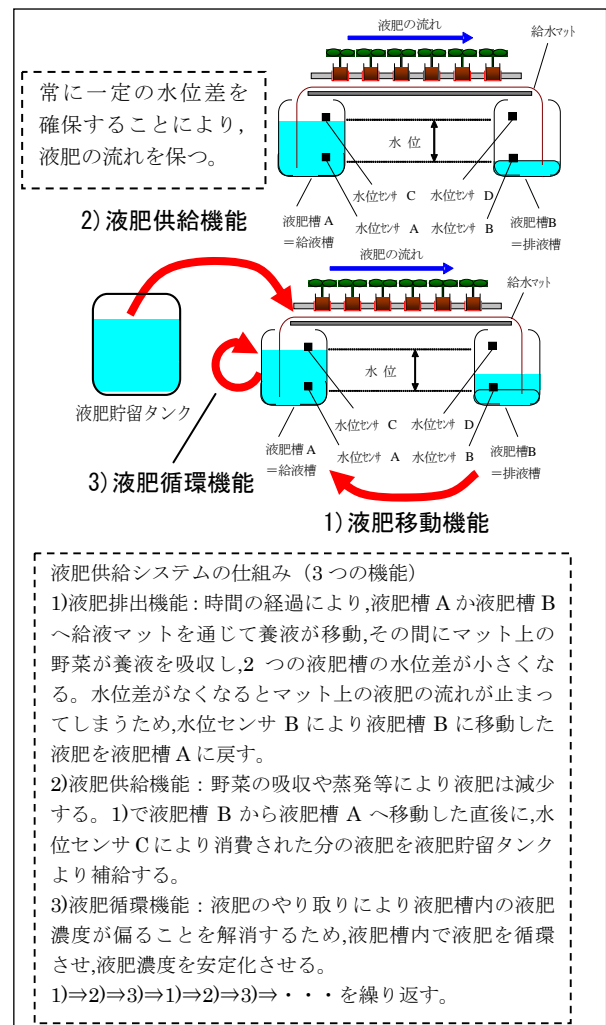


図-3 液肥の移動、供給、循環の仕組み

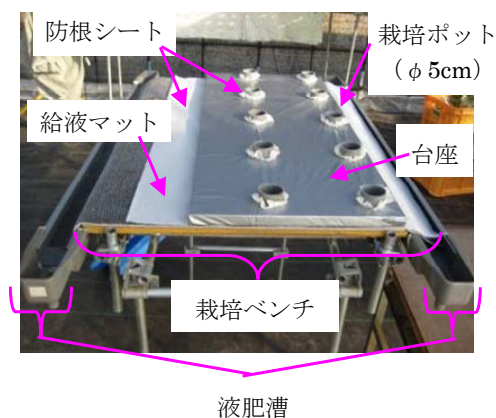


#### 4.4 栽培ベンチ

栽培ベンチは、両サイドに設置した液肥槽、その間に設置された液肥を給液するマットと防根シート（給液マットに野菜の根が浸入することを防ぐために敷設）、それらの上に置かれた野菜類を育成する栽培ポットにより構成される。（写真－2）

野菜類は、給液マットのどの位置においても、絶えず所定の濃度の液肥が供給され、根系より液肥を吸収し成長していくこととなる。

また、栽培ポットをセットする台座は加工が容易なウレタンフォームで作成しており、苗を鉢上げする栽培用ポットの大きさを容易に変更可能とする等、自由度を高めたものとしている。



写真－2 栽培ベンチ構成

#### 4.5 コストダウンを図ったシステム構成

園研式栽培システムは、他の養液栽培システムと比較し、「湛液用大型タンクを持たないこと」、「pH 調整装置やエア供給装置が不要なこと」、また「材料に一般的に購入可能な汎用品を多用したこと」等によりコストダウンを図っている。そのため、商品として市販されている他の水耕栽培システムの2～3割程度価格を抑えることができた。一方システムの根幹となる給液方法は特許を取得し、各動作の制御プログラムをブラックボックス化したことにより、容易に類似した装置の生産をできないようにしている。

### 5. 栽培方法

栽培ベンチは、野菜の種類によって、1～3段階に分けて利用できるようにしている。レタス等一株ずつ収穫する品種については、播種から収穫まで栽培ベンチの効率的な利用を図るため3段階に分けて栽培している。また、小松菜や水菜等多数の複数の株を束ねて収穫する品種については2段階で、ベビーリーフ等については1段階の

みで栽培している。

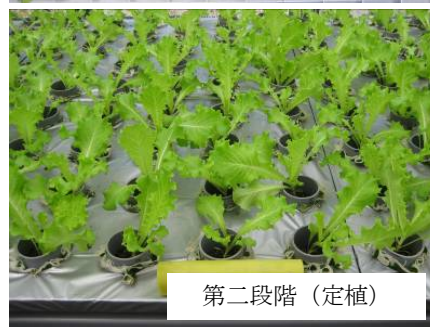
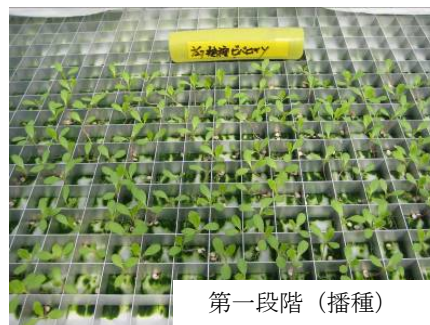
- 1) レタス類等1株ごとに収穫する品種の栽培
- a) 播種

レタスの播種については、小さい枠で区切った枠内に1粒ずつ播種できる播種装置を用いている。これは、次のステップである、栽培ポットへの定植（鉢上げ）時への作業効率を考慮し、種を一粒ずつ分離して播けるように工夫している。この段階を第一段階と呼ぶ。

- b) 播種後の栽培

播種後約2週間経過後、成長した苗を栽培ポットに培養土を入れ、底部を防根シートで覆った栽培ポットに定植（鉢上げ）する。栽培ポットは所定の間隔でポット配置穴を開けた、マルチシートを張ったウレタンフォームへセットする。

栽培ポットの設置間隔はサイズの異なる2種類を作成した。これは、限られた栽培ベンチの面積で効率よく栽培をするために、鉢上げから最初の約2週間は、栽培ポットの間隔の狭いタイプで育成し、その後レタスが成長し、外葉同士が干渉しあう程度に成長した段階で栽培ポットの間隔の広いタイプに移し替えて栽培するためである。



写真－3 レタス類の栽培方法

この段階をそれぞれ、第二段階、第三段階と呼ぶ。(写真-3)

## 2) 小松菜等複数株で収穫する品種の栽培

小松菜や水菜など、複数株をもって、一セットとする品種については、播種時点から栽培ポットに直接播種し、育成する方法をとる。使用する塩ビ管はレタス類よりも大きなタイプを使用し、第二、第三段階のみで栽培を行う。

(写真-4)



写真-4 複数株で収穫する品種の栽培方法

## 3) ベビーリーフのユニット

ベビーリーフは数種類の葉菜を混ぜ合わせて提供する品種である。また、収穫時に根の部分は除去する。そのため、栽培時より複数種類の種を混合して播種し、収穫時に根から刈り取り、パッケージ化する。そこで、レタス等のように栽培ポットを利用する方法ではなく、大きな栽培スペースで栽培する。(写真-5)



写真-5 ベビーリーフの栽培方法

# 6. 栽培試験の結果

## 6.1 パイプハウスによる秋期～春期の試験栽培

栽培試験は、装置の設置・試運転の後、11月より開始した。

秋期から春期における試験栽培を実施した結果、レタス類等他の品種についても問題なく栽培可能であることを確認した。また、茨城県内の農業関係者に栽培状況を

公開し、試食してもらったところ、「養液栽培としては、味がしっかりして、色も濃い」等の評価を得て、問題なく市場に供給できる品質を確保できていることも確認した。

なお、厳冬期には、ハウスの暖房性能等の制約により、ハウス内の温度が生育に適した温度よりを下回ったため、計画よりも育成に日数を要する結果となった。



写真-6 県内農業関係者への公開状況

## 6.2 パイプハウスによる夏期の試験栽培

今年度の夏期の試験栽培では、設備投資の削減の可能性検証を目的に、一般的なパイプハウスを利用し、側窓開閉+エアクール（噴霧冷房機）のみの設備で行った。

今夏が異常な高温気象であった影響も大きく、ハウス内の温度が50℃近くまで上昇し、かつ栽培ベンチ上は50℃を超える日も少なくなかった。その結果、レタスについては、発芽不良や第二段階において成長が止まるといった生育不良が生じ、簡易なハウス設備において高温下でのレタス栽培は困難であることが明らかになった。

一方、水菜や小松菜については、問題なく成長しており、夏場のハウス内で冷房施設の制約条件により温度管理が困難な場合において栽培品種の選定が重要であることが確認された。

なお、過年度の夏期は天窓、側窓が自動制御できるガラスハウスにて試験栽培を行っており、晩抽型などの品種を選定することで、夏期の栽培が可能であることを確認している。

## 6.3 複数の品種の同時栽培

試験栽培では複数の栽培ベンチに、レタス類とともに、小松菜、水菜、ベビーリーフを同時に栽培した。その結果、

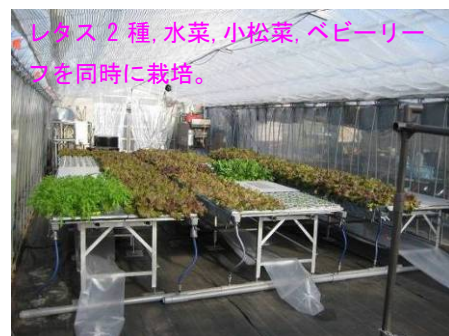


写真-7 複数の品種の同時栽培状況



成長期間は品種ごとの差が生じたが、いずれも商品として問題のない品質の野菜が同じ濃度の液肥で栽培可能であることが確認できた。

このことは、レストラン等の顧客からの少量多品目のニーズに対応が可能であることを示しており、市場の開拓に貢献するものと考えられる。(写真-7)

## 7. 園研式栽培システムの応用

### 7.1 高糖度トマトの栽培

本栽培システムを利用して、葉菜以外にも、市場価値の高い高糖度トマト等の栽培を試みた。

トマトの栽培時は収穫時のことを考慮し、葉菜と異なりベンチの幅を狭くし、2列植えとなる。また、高糖度トマトとして育成するため、花房を3段止めとするため、ベンチの高さも低め(地上部より約50cm程度)としている。

栽培の結果、糖度9.5~11程度の高糖度トマトを栽培できることが確認された。

今後は、採算性の検討と収量の確保を目指した栽培技術の確立が求められる。

なお、トマトの栽培は、播種から第三花房の収穫までは約6~7ヶ月を要する。また葉菜と比較し病害虫の管理に技量(経験)を必要とするため、経験者の元での栽培技術の習得が葉菜の栽培以上に必要となる。



写真-8 トマト栽培状況

### 7.2 人工光型栽培システムへの応用

本栽培システムでは、ガラスハウスやビニルハウスによる太陽光併用型により試験栽培を実施してきた。このシステムを植物工場等の屋内型(人工光型)へ展開するためには、屋内環境下においてシステムが正常に稼働する条件を把握し、栽培に最適な環境をつくりだす必要がある。そこで、完全人工光型システムの構築に必要なデータ収集(光量、温度管理、液非管理等)を目的に、苗育



人工光型栽培システム



蛍光灯による栽培

LEDによる栽培状

写真-9 人工光型栽培システムの実験状況

用の装置を改造した人工光型の栽培ユニットを作成し、太陽光の代わりに蛍光灯およびLEDを利用しての試験栽培を開始し、技術の確立を目指している。

## 8. おわりに

茨城県園芸研究所で開発した給液栽培マット方法の養液栽培システムの実用化について、実際の栽培試験を通して、検証を進めてきた。その結果、今回開発したシステムを適用することにより、レタス類等の葉菜とともに、高糖度トマトの栽培が可能であることを確認し、広く販売できる体制を整えた。

一昨年より、農水省・経産省が連携して「植物工場の普及」を推進し始めており、非農業分野の業界から農業分野への参入を果たすべく動きが活発化している。今回実用化したシステムが「植物工場」分野への参入のためのツールとして有効に活用されることを目指し、さらなる開発を進めていく次第である。

## 謝辞

茨城県農業総合センター園芸研究室中原前室長(現茨城県農業大学)、植田室長、三菱農機㈱には、マット給液栽培装置の技術および園芸研究所内の施設利用に関して様々な面でご指導いただきました。ここに心より謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 中原正一：養液栽培装置と方法，茨城県，特許第4195712号，2008
- 2) 板木利隆，佐々木皓二，宇田川雄二：新しい野菜づくりに向けて-養液栽培の実用技術，(社)農業電化協会，2001年，第3版
- 3) 草刈眞一：養液栽培の病害と対策，(社)農山漁村文化協会，2009年，第1版
- 4) 池田穰，谷口裕史：レタスのマット給液栽培における補光の効果-生産量増大のための検討-，ハザマ研究年報(2008.12)
- 5) 谷口裕史，秋田宏行，中原正一，森一朗：養液栽培装置，(株)間組，茨城県，三菱農機㈱，特許願明細書2010-025610

---

---

## Practical Application of Cultivation System using Growing Mat

Hiroyuki AKITA, Hirofumi TANIGUCHI

Hazama has paid attention to agriculture and has collected a variety of information on agriculture while groping for the new field where construction technologies can be used since 2005. We paid attention to the effectiveness of the cultivation systems for leafy vegetables grown using hydroponic techniques developed by Ibaraki Agricultural Institute. We started to learn the techniques in April 2007, and have advanced to the development of a cultivation system in cooperation with Ibaraki Prefecture since 2008. This time the vegetable cultivation system, with which everyone can grow safe and delicious vegetables, is put to practical use, and the sales are started by Mitsubishi Agricultural Machinery Co., Ltd.