

テーマ名：宇宙野菜工場（Made in Space）

静電気力と光を利用した宇宙での植物栽培方法の提案

鳥羽商船高等専門学校	制御情報工学科	三村 恭弘
		弓場 豊大
		宮本 賢太郎
	電子機械工学科	伊藤 有基
		今井 優志
		濱口 亮太
	商船学科	三宅 俊哉
		刑部 宏亮
	☆指導教官	伊藤 友仁

1. 緒言

近年、宇宙開発が進み現在も国際宇宙ステーションの建設が進んでいる。来年には日本初の有人実験施設「きぼう」が国際宇宙ステーションにドッキングする予定である。国際宇宙ステーションが完成すれば人類が宇宙に滞在する時間はより長くなる。現在のスペースシャトルでは1～2週間程度の宇宙滞在であれば、食生活で大きな不満を感じることなく過ごせる¹⁾。しかし、スペースシャトルや国際宇宙ステーションには食糧専用の冷蔵庫は常備されておらず、地上のように新鮮な野菜や果物を食べるのができない²⁾。宇宙でも地上と同じように新鮮な野菜を食べたいと思うだろう。また、惑星探査や宇宙旅行の際に起こる食糧問題も今後考えなければならない事項のひとつである。そこで我々は、宇宙ステーションや宇宙旅行などの長期宇宙滞在の際、新鮮な野菜を栽培する装置「宇宙野菜工場（Made in Space）」を作ることを考えた。

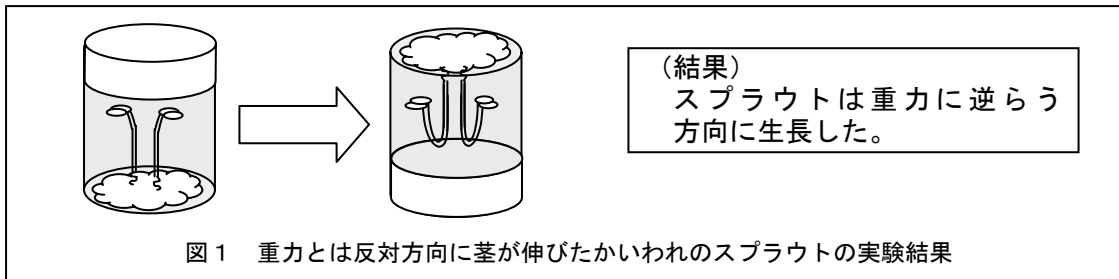
今回のミッションは、長期間宇宙に滞在する際に新鮮な野菜を食べられるよう、無重力下で地上と同様に野菜を栽培する装置を提案するものである。この装置は単に野菜を栽培するのではなく、地上実験で確かめられた植物が持つ力や光に反応するセンサの機能が、無重力下の宇宙で地上と同じように働くかを確かめる植物学的な実験要素が含まれる³⁾。植物は地上で「力（重力）」や「光」、「温度」などを感じながら生長する。そのことから植物は「力」や「光」、「温度」などを感じるセンサが備えられていると考えられる。そこで、今回は植物が持つセンサについて、「力（重力に替わる力としての遠心力や静電気力）」、「光（色や光が差し込む方向が植物の生長に及ぼす影響）」に関する実験を行った。これらの地上実験の結果に基づき、宇宙ステーションやスペースシャトル内の限られた空間で、地上と同じように野菜を効率良く栽培する装置「宇宙野菜工場（Made in Space）」の構造を検討し、実用的な野菜の栽培方法として提案する。この装置が実現すれば、将来の長期宇宙滞在の際に野菜不足になるという問題を解決できる。また、この技術は月面基地や他の惑星での野菜栽培にも応用が可能であると考えられる。

2. 植物が持つセンサについて

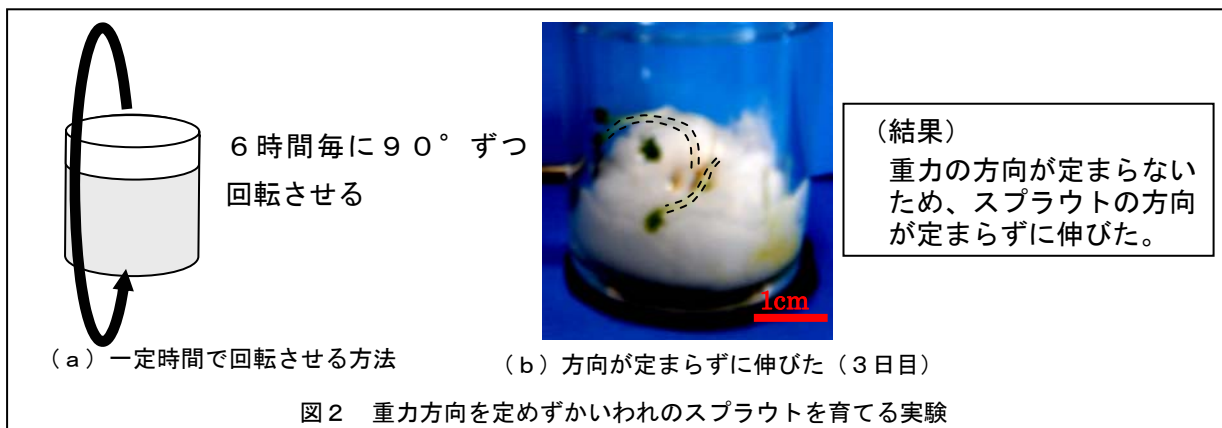
植物が生長する際、主に「力」、「光」などを感じながら一定方向に茎や葉を伸ばしていくと考えられる。そこで、それらのセンサ機能が地上において植物が生長する際に働いているかを確認する為に以下、「かいわれ」スプラウト（スプラウトとは、植物の新芽の総称。生長が早く効果が現れやすいので実験で使用した。）を用いた実験を行った。

(1) 重力の影響を調べる実験

瓶の底に水を含ませた脱脂綿を取り付け、脱脂綿に種を植え発芽させる。茎を少し伸ばしてから瓶を逆さまに置き、根を瓶の底側にして茎の生長を確認した。瓶は暗室に置き、さらに瓶の周りを遮光することで光の影響を受けないようにした。尚、実験には生長が早く効果が現れやすい「かいわれ」のスプラウト（植物の新芽の総称）を利用した。

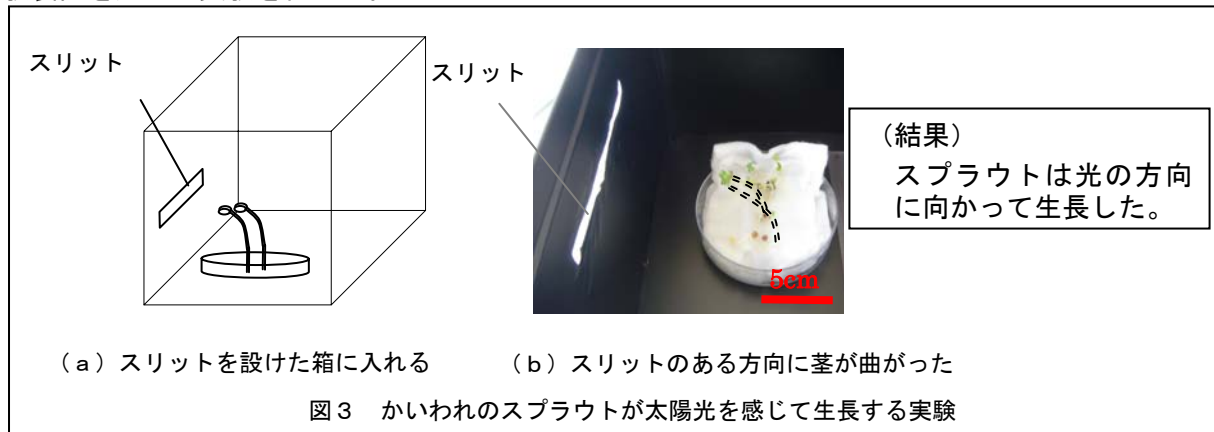


次に、容器を図2 (a) のように回転させる方法と、モータを回転させ重力方向が定まらないようにし擬似無重力状態を作り出し茎の生長を確認した。



(2) 光の向きが与える影響を調べる実験

スプラウトは、太陽光が差し込む方向をセンサで感じて生長するかを確認する為に、図3のような実験装置を用いて実験を行った。



以上の実験より、スプラウトのセンサが「重力」及び「太陽光」を感じながら生長していることが確認できた。地上で感じることができる環境要因が、宇宙でどのようなものに置き換えることができるかを検討し、その結果をまとめたものを表1に示す。

表1 宇宙で地上の重力と光の環境に替わると思われる環境要因

要因		植物に及ぼす影響	実験の必要性
重力に替わると思われる力	遠心力	茎は 遠心力と逆方向に生長 すると推定される。	有り
	静電気力	茎は 静電気力により引っ張られる がどの方向に生長するかは確認する必要がある。	有り
太陽光に替わると思われる光環境	光の色（波長）	植物は 光の色の変化を感じ、何らかの影響 を及ぼされると考えられる。	有り
	光の強度（明るさ）	変化を感じる が、影響は植物によって異なる。	—
その他	温度	最適な環境を実現することで、植物の生長を早めることができる。(本ミッションで提案する装置では、 自由に設定することが可能な 機能を付与する。)	—
	湿度		

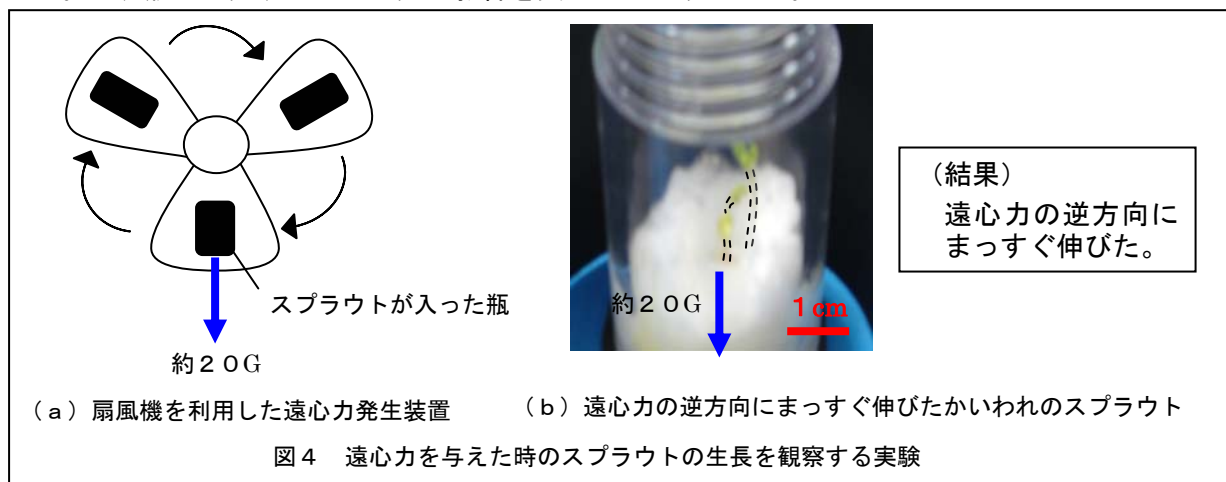
3. 地上で行った実験

植物は地上では、特に「重力」と「光」を感知しながら生長していることが、上の実験で明白となった。次に宇宙で利用できる重力に替わる力と光の種類（色）を調べる為の実験を行う。その結果から無重力下で、地上に近い環境を作り出す装置「宇宙野菜工場」を考える。

(1) 重力の替わりとなる環境要因を調べる実験

・遠心力を用いた場合

植物が遠心力を与えることで、どのように生長するかを調べる実験を行った。図4のように、扇風機の羽に取り付けた種の入った瓶を取り付け、4日間回転させ（380rpm、約20G）、その生長を観察した。尚、瓶は遮光することで光の影響を受けないようにした。



・静電気力を用いた場合

電界中の細長い物体は、電界方向に並ぶような静電気力「静電配向力」が働く。植物が電界を感じるか調べる為、シャーレに平行な電極（図5（a））と、傾斜のある電極（図5（c））を配置した装置を用いて実験を行った。（電極間には5 k Vの直流電圧印加）

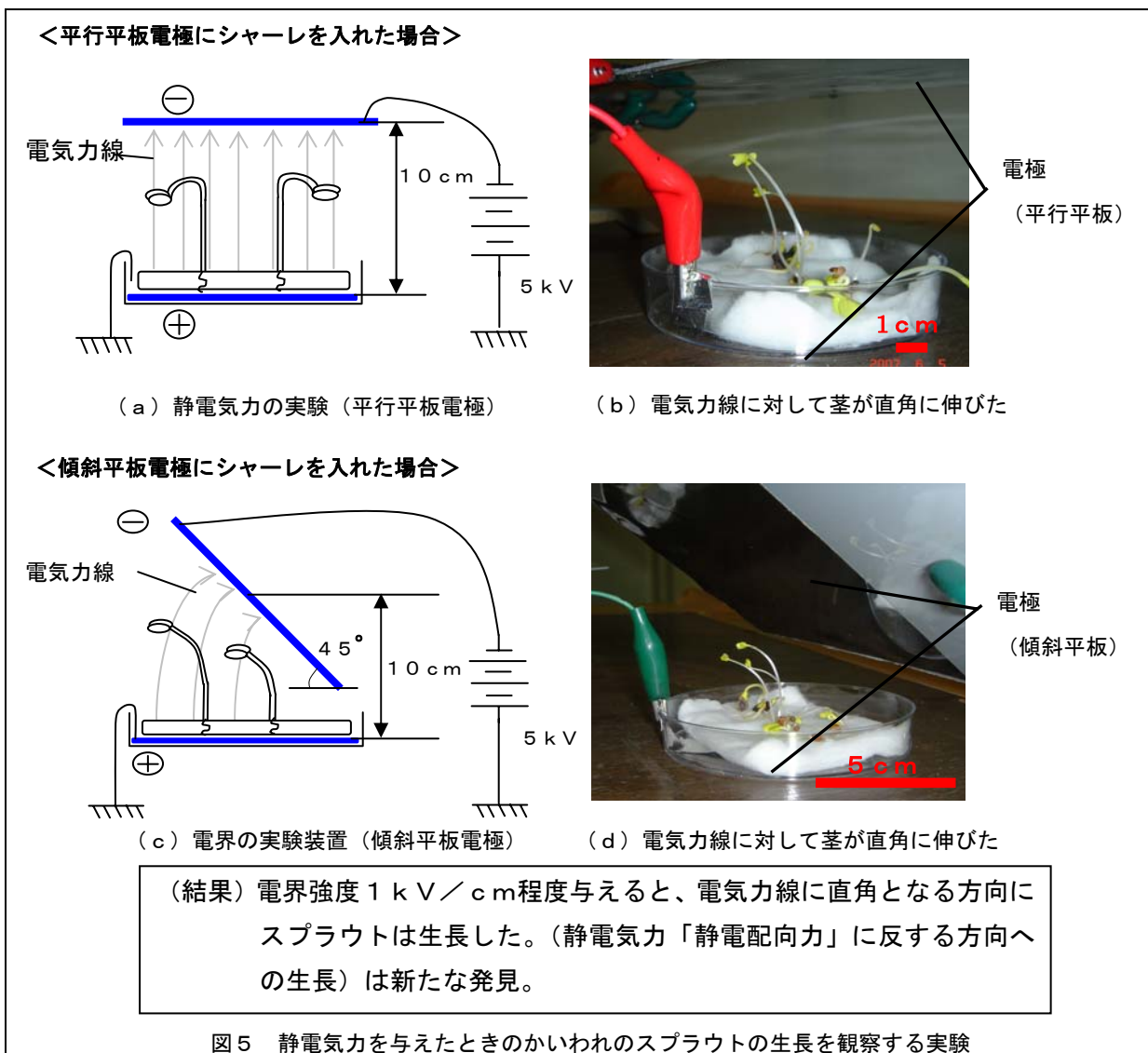


図5 静電気力を与えたときのかいわれのスプラウトの生長を観察する実験

(2) 光の影響を調べる実験

植物のセンサが光の色（波長）の違いにより、影響を受けるかを調べる実験（LEDを利用）を行った（図6）。

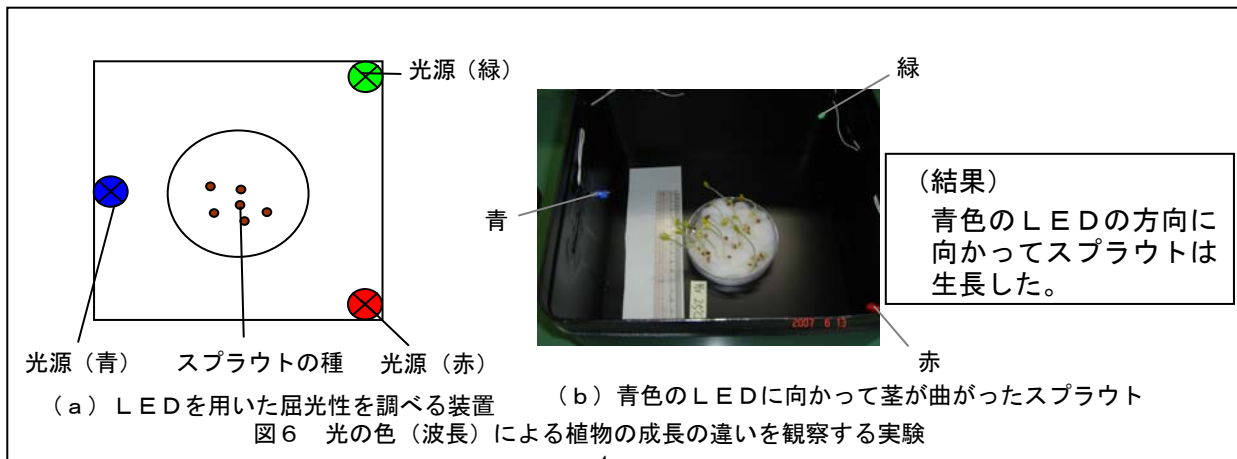


図6 光の色（波長）による植物の成長の違いを観察する実験

4. 実験の結果と結論

実験結果と宇宙での実用性の検討結果をまとめ、表2に示す。

表2 実験結果と宇宙での適用性の検討

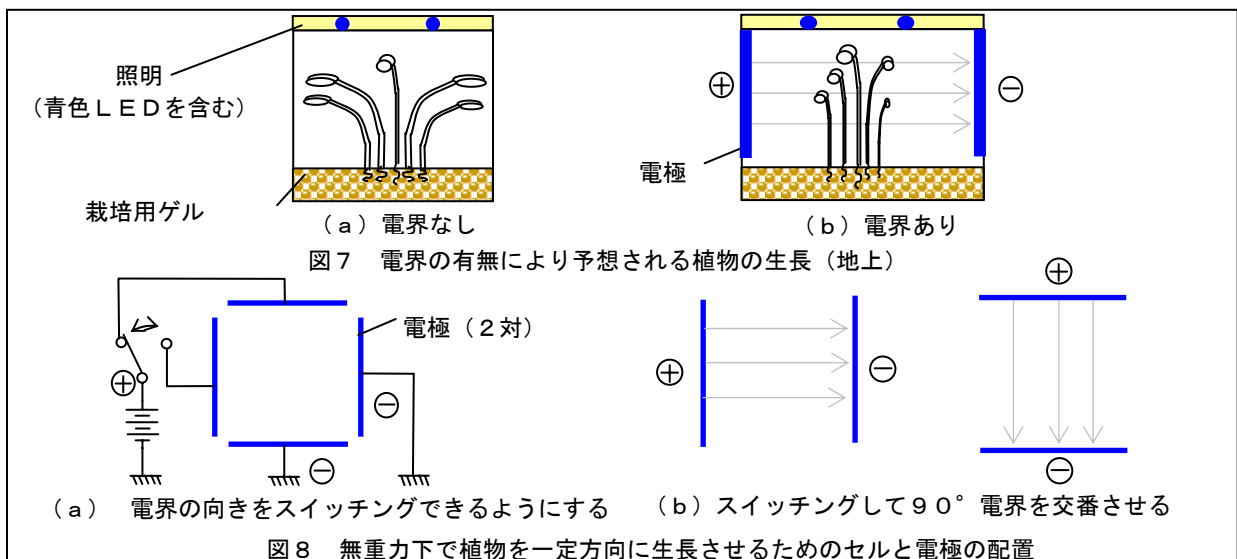
行った実験		実験結果	宇宙での適用性
重力に替わる力	遠心力	茎は 遠心力の逆方向 にまっすぐ生長する。	回転 を用いる為、 宇宙船内での使用は好ましくない 。
	静電気力	電気力線に直角 となるような方向に生長する傾向が認められた。	宇宙船内での 擬似重力として最適 だと考えられる。
太陽光に替わる力	光の色（波長）	青色の光 に向かって生長する。	植物が 生長する方向をコントロールすることが可能 である。

表2より、植物が遠心力、静電気力及び光の色を感じるセンサを持ち、実際に機能していることが実験により証明された。また、植物が持つ静電気力・光の色を感じるセンサ機能を、本ミッションで利用することが可能であると確認できた。尚、比較的高い電圧による静電気力を与え植物を育成する実験は前例がないと思われ、興味深い結果であった。これらの知見に基づき、宇宙で地上と同様に野菜を育てる為の方法を以下に述べる。

5. 提案する「宇宙野菜工場」

(1) 無重力下で植物を地上の様に一定方向へ生長させる方法

図8のような植物を1～2本育てる為のセルを考える。セルの底は土に相当する栽培用ゲルが配置され、側面には2対の平行平板電極が配置されている。ゲルに種を蒔き植物を育てることを考える。電極を設置しないセルでは、茎は照明（青色を含む）によって上方向へ伸びるが、光のみでは大きな方向性が得られず茎が少し曲がって育つと思われる（図7（a））。セルの側面に電極を設置し電界を作ることで、茎が照明の方向（電気力線と直角方向）に、よりまっすぐ伸びると予想される（図7（b））。またこの電極は図8のように、定期的に電界の方向を替えることで、電界と直角方向を一次的に固定でき、植物の生長を一方向にコントロールできるものとする。よって、「宇宙野菜工場」は青色を含む照明と、電極を備えたセル構造が適すると考えられる。



(2) 提案する「宇宙野菜工場」

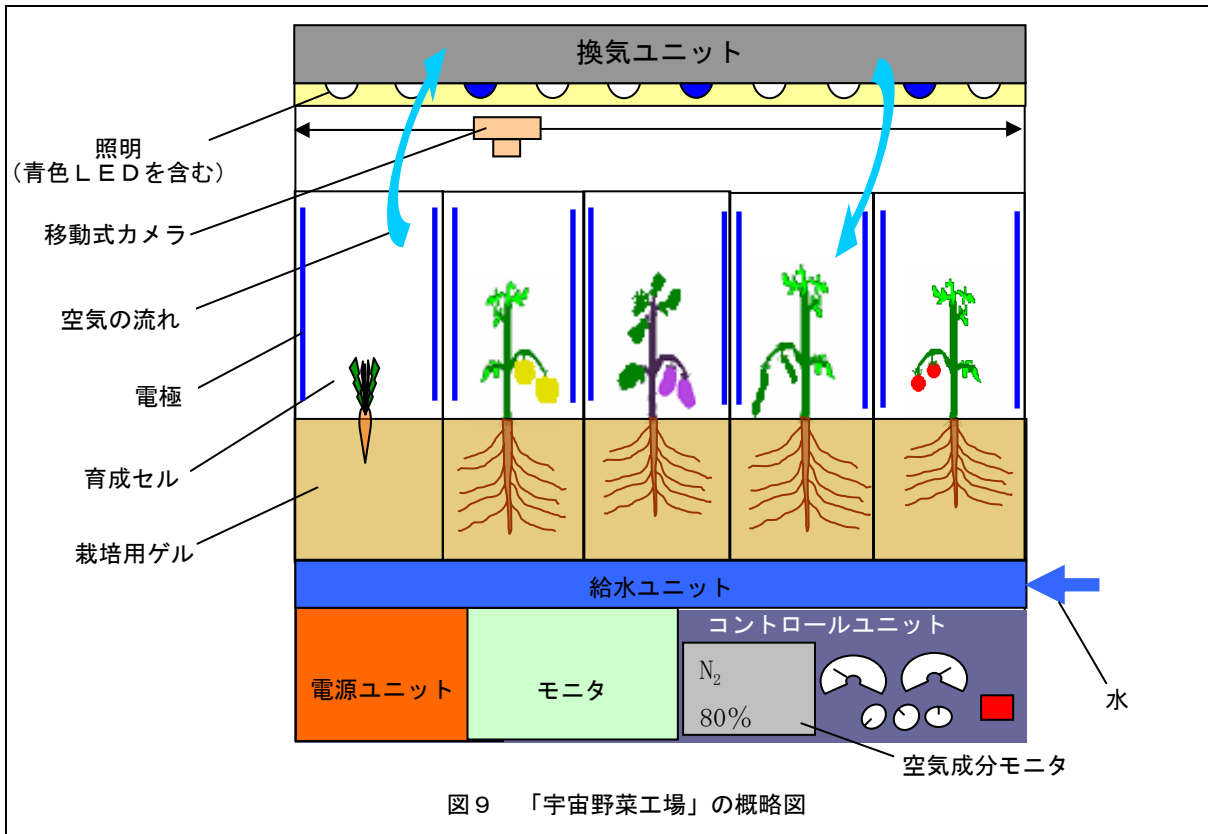


図9 「宇宙野菜工場」の概略図

(「宇宙野菜工場」の主な機能)

①育成セル

栽培する野菜は、1～2本ずつこのセルに納められている。育成セルは列ごとに取り出すことが可能で、種まきや収穫の時は本体から外して作業を行う。また、電極がセルの壁面に2対設置され、定期的に電界の方向を90°ずつ交番させる(図8参照)。

②照明

省電力化の為、白色と青色のLEDを用いる。通常時は白色LEDを使用し、植物の方向をコントロールする際に青色LEDを使用する。

③換気ユニット

「宇宙野菜工場」内でカビを発生・繁殖させない、また炭酸ガス(ヒトが排出する)供給の為、装置内の換気を行う。

④移動式カメラとモニタ

「宇宙野菜工場」は、照明により野菜の生長方向をコントロールする為、外部から光が入らないよう遮光されている。移動式カメラを用いて、内部の様子を外部にあるモニタ画面に映し出す。また、カメラはレールに沿って、自由に移動することが可能である。

⑤栽培用ゲル

野菜の栽培に必要な不可欠な、水分と養分が含まれている。種まきは、ゲル内に種を挿入することで行う。

⑥給水ユニット

栽培用ゲルの水分や養分が不足した際に、養分を含んだ水を栽培用ゲルに供給する。

⑦空気成分モニタ

本体内の空気成分をセンサで検知し表示する。

⑧コントロールユニット

「宇宙野菜工場」のすべての設定及び管理を行うことができる。

6. 技術的な課題

今回は、茎に対して光や電界を与えて植物を地上と同様に育てるよう実験を行ったが、根に対しての実験は行っていない。実用化する為には、茎だけではなく根に対しても光や電界の影響を実験し、地上と同じように生長することを確かめる必要がある。また、宇宙で野菜を育てる際の電界や光条件の最適化を、十分に検討する必要がある。

7. 将来の夢

宇宙船内の「宇宙野菜工場 (Made in Space)」で栽培された野菜が、宇宙食として食べられることを期待する。将来、技術が進み大規模な野菜工場の運用が可能となれば、地球から宇宙食を持っていかなくともそれを食材とし、新鮮な野菜を使った栄養豊富な料理を宇宙で食べることができるかもしれない。また、あまり知られていない植物の生長に及ぼす電界の影響などを、より詳しく研究することで未知の植物学の分野を開拓することができるかもしれない。そのような研究成果が、より効率的な野菜の栽培技術に発展することを望む。

8. まとめ

将来、人間が宇宙に長期滞在する場合、宇宙飛行士の食糧確保及び健康維持の為に「宇宙野菜工場 (Made in Space)」を考えた。無重力下で地上と同じように植物を育てるために、植物が持つ力や光のセンサ機能を利用することに着目した。地上の実験において、光の色・静電気力・遠心力が植物の生長に影響を及ぼすことを確かめた。将来、我々の提案が実現し、宇宙船内の野菜工場で作ったおいしい野菜を宇宙飛行士たちが食べる日がやってくることを期待する。

参考文献

- 1) マイク・ミュレイン「宇宙飛行士が答えた500の質問」三田出版会 p. 238 (1997)
- 2) 同上 p. 242 (1997)
- 3) 菊山紀彦「宇宙生活読本」ビジネス社 p. 61 (1997)