

Space farm project season2

Ver 2024.09.07

宇宙農園食対応版

～宇宙空間で食糧生産を実現させるために～



秋葉原口ボット部

@busyoucow

発行 秘密結社オーブンフォース

まえがき

githubで最新のものが読める。urlをブラウザに入力してアクセスして欲しい。
(<https://github.com/busyoucow/spacefarm>)

ライセンスはMITとなる。

この原稿を執筆する際に、秋葉原口ボット部に関わりの深い秘密結社オープンフォースの總統(@nanbuwks)（以下總統と表記）より指導監修を受けている事に感謝したい。

本書で扱う技術的範囲

本書では2024年現在で開発がされており、今後10年間で実用化されるであろう技術までを扱う。既に実用化しているものは言うまでもない。

目次

- まえがき
 - 本書で扱う技術的範囲
- 目次
- はじめに～宇宙農業を考える～
 - 農業プラントの必要性
 - 隣接惑星へ行くために長期滞在を強いられるケース
- 最初の検討～農業プラントの構想と問題点～
 - 農業プラントにおける諸問題
 - これがメタルネットバリーンプラント（MNPB）だ！
 - メタルネットバリーンプラント仕様
 - メタルネットバリーンプラントコスト計算
 - 内部に設置する栽培ユニットカートリッジ
 - デブリ対策
 - デブリ速度は10km/s
 - バリーンは守るのではなく補修・再使用・リサイクルで
 - 循環表層水防護膜「武者鎧」
 - 機動防護壁「コーンハスク」
 - 宇宙船に搭載モジュール化「ギャップコーンモジュール(GCM)」
 - ギャップコーンモジュール(GCM)
 - GCM宇宙船装着例
 - 宇宙農園で作るメニュー
 - 宇宙農園で作る作物は？
 - 作物の選択
 - 宇宙農園メニューの試作
 - 用意する材料
 - 作り方
 - キノコの処理
 - 素材の組み合わせ
 - 混ぜて寝かせ
 - 加熱して完成
 - カロリーとコスト考察
 - 味と今後の課題
 - 宇宙酵母菌の可能性について
 - 宇宙生活で不足するタンパク質
 - 酵母で補うには？

- 問題点
- 解決策
- 良質なタンパク質を得るために
- 実際に調理してみた
- 味と今後の課題
- HM（ホットケーキミックス）について
- 宇宙で何を栽培するか
 - 一人当たりの必要栄養素
 - 欲しい作物 イコール 生産する作物ではない
 - 炭水化物の確保
 - タンパク質の確保
 - 酵母菌を培養してタンパク質の植物性偏りを補正する
 - 作物収量計算
- 栽培ユニットカートリッジの改良
 - 総統との計算千本ノック
 - 第一案 はじめからちゃんと考えていたのです
 - 第二案 物理法則の壁
 - 第三案 シリンダーと内圧差
 - 第四案 内圧との果てしない闘い
 - 第五案 総統のネタバラシ
 - 闘い終わって...
 - 今後の展開
- プラント設計と収支
- 宇宙レシピ
 - 栄養補給のために酵母を使ってみた
 - ビール酵母は味覚に大きな影響を及ぼす
 - パン酵母を使用すると細胞壁が壊れていないため必要量増加
 - レシピ1 主食になりうる食事
 - 実践！レシピ公開
 - 材料はこちら。
 - 挑戦した画像がこちら
 - 実食...
 - レシピ2 甘いものも欲しいですよね
 - 実践！レシピ公開
 - 材料はこちら
 - 挑戦してみた画像はこちら。
 - 実食...
- あとがき
 - 変更履歴

- 注意とこれから

はじめに～宇宙農業を考える～

宇宙で生活する際に、重大な消耗資材である食糧を継続可能な自給できれば長期滞在に役立つことは言を待たないだろう。

地球上から宇宙空間に資材を運ぶには、現状ではロケットのような高価かつ貴重な手段を使う必要があるからである。

長期滞在の是非はともかく、観測や研究など宇宙空間にて滞在しなければいけない人間に対するとても重要な要素である。

また、この技術は地球上でも気候変動や災害・シェルター退避など過酷な環境にて食糧を自給できる手段を広げる事にも応用できるため、決して無駄にはならない。

農業プラントの必要性

化学的合成で作られる栄養剤は容易に合成できるのが利点であるが 人間のメンタルに影響する。（ディストピア飯と呼ばれる）

畜産・養殖は多くの植物資材を消耗するため現実的でない（食肉1kg生産に牛肉は11kg、豚肉6kg、鶏肉4kgの穀物が必要 農水省資料）

以上の事により 専用プラントにおける農業 が適していると考えられる。

隣接惑星へ行くために長期滞在を強いられるケース

例えば月から火星まで5500万kmを現在の技術を使って行くと約250日(NASAの試算)かかるため現在の宇宙食にて全て賄うのは現実的ではない(一人当たり $0.6 \times 250\text{日} = 150\text{kg}$ +リサイクル水)と考えられる。全行程3年かかるという試算もある。

この期間、ディストピア飯のような食事が続く可能性があるとすると寒気がするのは私だけだろうか。

現在の宇宙食はレトルトパックや缶が主流だが、2024年に能登半島地震救援炊き出しを行った経験から被災者よりレトルト・インスタント食品が中心の食事が数か月続くことによる苦惱の声が多かったように思う。

高い志を持ち訓練をされた自衛隊でも缶飯といった携行食が続くと嫌になる(それでも海外のレーションよりはましだそうだ)という元隊員の証言も非公式ながらある。食の問題はそれだけ人間のメンタルに深刻な影響を与えるのだ。

最初の検討～農業プラントの構想と問題点～

ここより、農業プラントとは植物栽培専用の独立した比較的大型な区画空間を指すものとする。試験管の中や手で引き出せる程度のボックスは含まない。

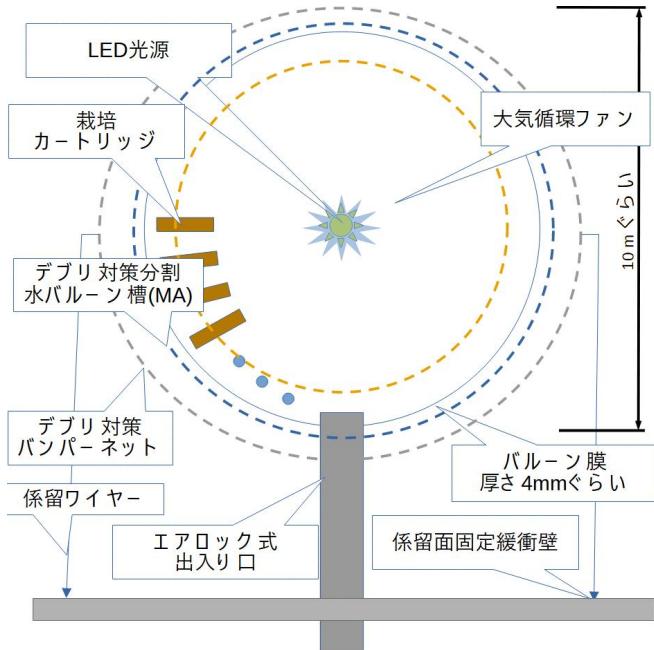
農業プラントにおける諸問題

農業プラントは大きな空間が必要だが現用往還機の一度に扱えるスペースは限られる。(HTVは直径4m) 宇宙空間ではデブリ対策も考慮する必要がある。

そのため、空間とデブリ対策の双方を満たす解決策として「メタルネットバルーンプラント」を提案したい。農業プラントには人間の居住区ほど強固にデブリ等から守る優先度が低いと考えるためである。

これがメタルネットバルーンプラント(MNBP)だ！

輸送時は小さく、展開時は充分な大きさの球形となり設備区画へ係留する。内部は植物向けの大気(CO₂等)を充填するため、エアロックは必要だが内部作業時は宇宙服や気密服が必要。原則遠隔口ボットで作業をすることとなる。



メタルネットバリーンプラント 仕様

- 直径 10m
- 栽培ユニットカートリッジ x 314基
- 収量 314kg/60日(トマトの場合)
- 質量 40t
- (内訳)
 - 1.5t 栽培ユニットカートリッジ
 - 6t 水
 - 31t 武者鎧
 - 0.7tバルーン
 - 1t 栽培施設
- 打ち上げコスト 500億円

メタルネットバリーンプラント コスト計算

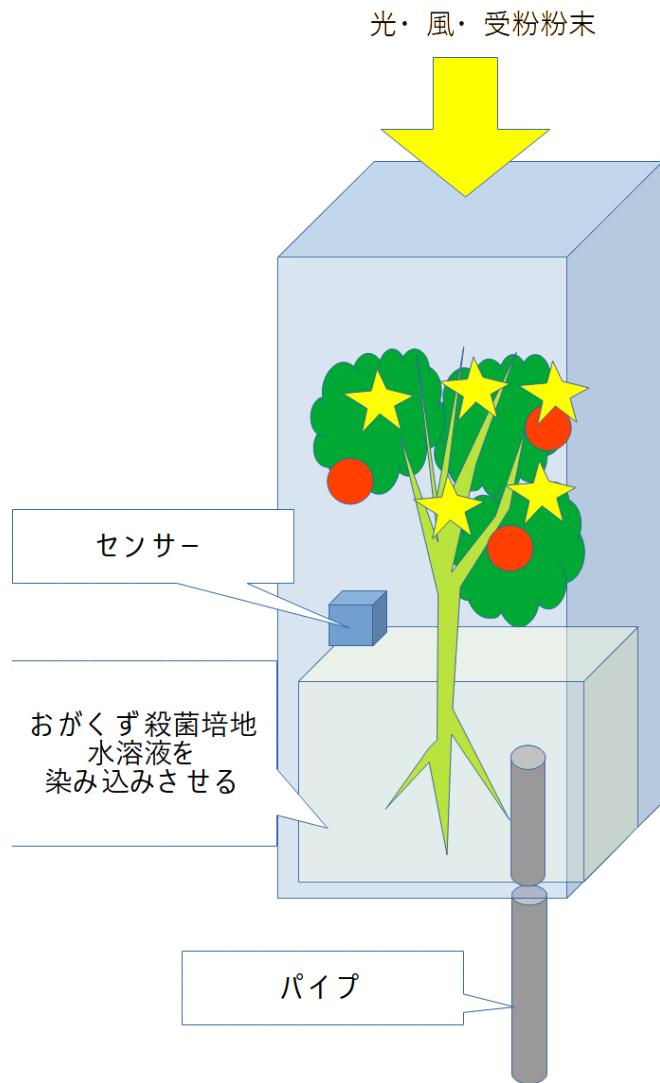
- 打ち上げコスト 500億円
- 破壊率 1%/年
- 耐用年数 10年
- 減価償却費 1500万円/日

- 生産量
- 314kg/60日(トマト仕様)→ 5kg/日
- 157kg/10日(シメジ仕様)→ 2.5kg/日
- 314kg/50日(エダマメ仕様)→ 6kg/日
- 314kg/180日(ムカゴ仕様)→ 1.5kg/日

内部に設置する栽培ユニットカートリッジ

内部幕にはw50cm×d50cm×h100cmの水耕栽培ユニットカートリッジを設置。作物の種類によって異なり、基本的に気密されない

中央空間にLED光源と大気・受粉粉末循環用ファンを設置する。LED光源の発熱問題が未解決だが、冷却放熱手段は今後検討したい。



デブリ対策

デブリ速度は10km/s

戦車砲徹甲弾は2km/s

完全に防御しきるのは困難 デブリ類外壁貫通確率は年間1% JAXAのISSモジュール「きぼう」運用データ

年間10個は貫通 / バルーンプラント1000個

バルーンは守るのではなく補修・再使用・リサイクルで

強固な外殻よりも 補修・再生しやすいバルーンタイプ 地球地表の温室もひょうの多い地域ではガラス製よりビニールハウスの方が再生容易 内部の栽培ユニットカートリッジも再生して使用

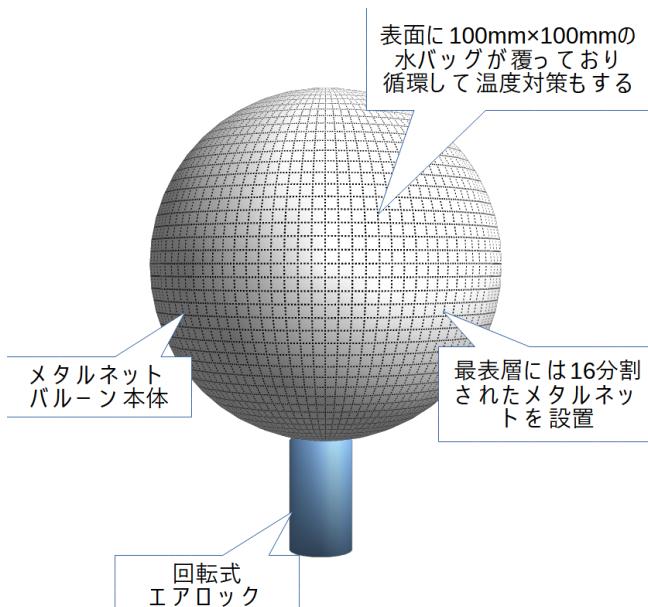
循環表層水防護膜「武者鎧」

居住区画ではないためとして大規模な隔壁は設けない

年間1%程度の損失で済む程度にできるようスタッフィング入りバンパネットを16分割にてバルーンプラントに覆う形で設置。

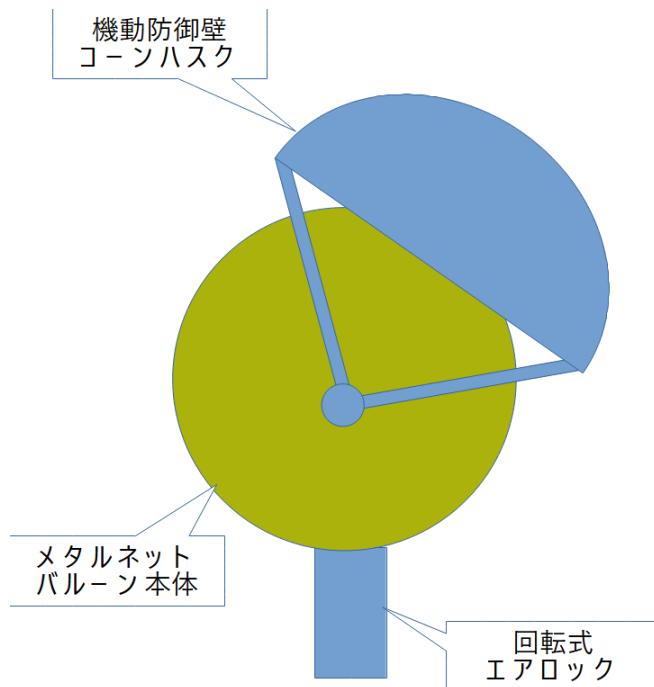
更にネットとバルーンプラントの間に水タンクを兼ねた循環式水バルーン層「武者鎧」を31400分割にて配置する。

破壊されたバルーンプラントは内部含めリサイクル処理に回す。 ネットと水バルーンは破損部を交換補修し再使用。



機動防護壁「コーンハスク」

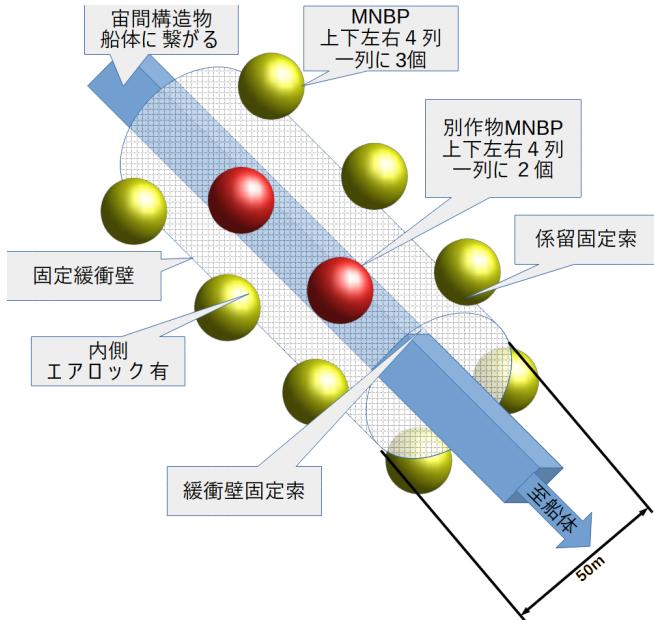
デブリは宇宙構造物が周回・移動する際に進行方向から衝突するケースが多い。海水浴で海中のゴミに衝突するのを想像すると分かりやすいだろう。その為進行方向に向けて強固な防御壁を可動させることができると考えられる。宇宙船であれば言わずもがな、宇宙ステーションであっても姿勢制御により構造物の向きを変えなくてはいけないケースが想定される。



宇宙船に搭載モジュール化「ギャップコーンモジュール(GCM)」

ギャップコーンモジュール(GCM)

図では GCM に MNBP 20 基搭載 全体規模 MNBPが1000基(100人分) GCM だと 50基

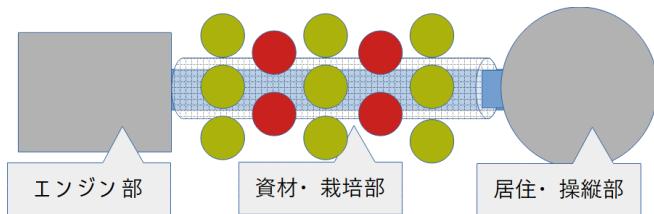


GCM宇宙船装着例

宇宙船のエンジン部と居住部の間をつなぐ区間に設置を想定した。

宇宙船への設置方法は様々であるが、デブリ防御しやすい形態を検討されたい。

また、このGCMは重力を必須としない。その為設置はきちんと固定出来回転エアロックと電気と水が供給できる構造であれば設置個所を選ばない。



宇宙農園で作るメニュー

宇宙農園で作る作物は？

人間の長期滞在を安心・安定的に実現するには、植物を農業プラントにて生産して調理する必要がある。これは人間のメンタル維持にも必要なことであり、更に宇宙空間では地球環境を大規模に模倣しない限り水耕栽培が主となるため、それを考えた作物とメニューを選択する必要がある。

作物の選択

作物は水耕栽培が前提のため菌類と芋類(根菜は不可のためむかご)、豆類それと酵母を選択し加熱調理したスープソテーを提案したい。糖類とタンパク質、纖維質を含み咀嚼を楽しめる為である。

現代の地上で揃えるならば

	重量g	カロリーkcal	タンパク質g
シメジ	100	26	2
エダマメ可食部	73	180	8
トロロイモ	40	40	1
合計	213	246	11

宇宙植物工場で揃えると

	重量g	カロリーkcal	タンパク質g
シメジ	100	26	2
エダマメ可食部	73	180	8
ムカゴ	40	40	1
合計	213	246	11

一食当たりの炭水化物カロリーが低いことが目につく。ジャガイモを水耕栽培するエアポニックス技術をKIRINが研究しているためこれが採用できるのを期待したい。

宇宙農園メニューの試作

用意する材料



シメジ 一株 ゆで枝豆 1パック とろろ芋 1パック 塩こうじ 適量 キリンスプリング
バレー 1缶(酵母の代用) 他に食塩を使用

作り方



ゆで枝豆は鞘から豆を取り出す。この時点で質量は半分ほどになる。むかごは季節ではなく入手できなかつたため、冷凍山芋パックを使用。

キノコの処理



パックのブナシメジを洗浄して切っていく。石突の部分は除去。洗うと水を含み重量が増加した。耐熱容器に入れていく。

素材の組み合わせ



鞘から取り出した枝豆を入れる。山芋パックを入れる。塩こうじを入れていく。10g程度か。塩もこの段階で少し振っておく

混ぜて寝かせ



これらを混ぜておく。冷蔵庫で30分ほど寝かせて、味をなじませる。

加熱して完成



電子レンジで5分加熱したあと、3分おいて中まで熱を通す。更に電子レンジで3分加熱する。醤油は味を見て適宜使用。これで完成。キリンスプリングバーーは酵母菌補給のために添えた。

カロリーとコスト考察

カロリー値偏重はよくないが、やはり宇宙空間という隔離空間ではコストとカロリーは切り離せない。ここで考察する。

地上で用意した場合

	重量g	カロリーkcal	タンパク質g	コスト¥
シメジ	100	26	2	107
エダマメ可食部	73	180	8	179
トロロイモ	40	40	1	57
合計	213	246	11	343

宇宙で用意した場合

	重量g	カロリーkcal	タンパク質g	コスト¥
シメジ	100	26	2	150000
エダマメ可食部	73	180	8	380000
トロロイモ	40	40	1	500000
合計	213	246	11	1030000

こうして考えてみると、やはり炭水化物由来のカロリーが不足気味でコストも高い（育成期間がかかるため）のでその部分は解決が必要であろう。

味と今後の課題

ちゃんと火が通っているので安全安心、お腹にもたまるように思えた。しかし... よく言えば「素材の風味が生きている」正直に言えば「味が単調で薄い！」と感じる。写真に映っている醤油が大いに助けとなつた。意識高い系の人ならばヘルシー！で良いと感じるかもしれないが、中年男性には物足りない味付けになつたと感じる。しかし食感はいい感じであった。うまいもある。あと、枝豆はスーパーの常温品なので既に塩ゆでしてあります...生豆を使う場合はその辺りも考慮する必要がある。次回はオープンでホイル焼きも検討したい。

宇宙酵母菌の可能性について

宇宙生活で不足するタンパク質

1日60g 必要※1 1食当たり20g ※2 エネルギーは1日2650kcal、1食当たり884kcal 以前のレシピでは蛋白質9g、エネルギー638kcal不足する。これを解決するには？まずは蛋白質を考えてみる

※1 月面農場ワーキンググループ, 2019, 月面農場ワーキンググループ検討報告書 第1版: 宇宙航空研究開発機構(JAXA), 25 p.

※2 Space farm project ~宇宙空間で長期滞在を実現させるために~ ver 2024.7.27
21p

酵母で補うには？

ビール酵母（ASAHI EBIOS ビール酵母粉末タイプ）の場合 55g/100g の為9g補うには約16g必要。大さじ1が約15gなため1と1/8必要となる。しかしこれでは味覚に大きな影響が出てしまう。ドライイーストの場合 2割増しでないといけないため約20g、大さじ1と1/3必要である。

問題点

宇宙で畜産を行うのは飼料効率が悪いため除外 植物性タンパク質だけでは健康に影響するという説がある。動物性タンパク質生産には魚類養殖もあるがプランツが比較的大型になるため初期は難しい 酵母菌なら培養槽で増やせるが味が良くない

解決策

宇宙生産初期で有望なのは酵母菌だが味覚に難がある。これを精神論で我慢させるのは前時代的のためレシピで解決したい。中期になれば空間を確保して魚類回遊養殖槽を設置するのも良いかもしれない。

また味に影響を与えていく酵母菌の発見も待たれる。納豆菌も有望（アミノ酸組成タンパク質14.5g/100g）※1

※1 出典：日本食品標準成分表（八訂）増補2023年

良質なタンパク質を得るために

宇宙空間ではキノコ類も含め菌類の活用が有望であると考える。キノコ活用レシピは拙稿SpaceFarmProjectを参照されたい。菌類は一度死滅させてしまうと再生が困難である為定期的に菌種確保する必要があると考える。宇宙空間での生活は過酷になると考えられるため数少ない楽しみとして食の充実を考えたい。

実際に調理してみた

ここでは前項のASAHI EBIOS ビール酵母を使って調理を試みる。なお食材は冷蔵庫にて賞味期限の切れかかったものを使用する。



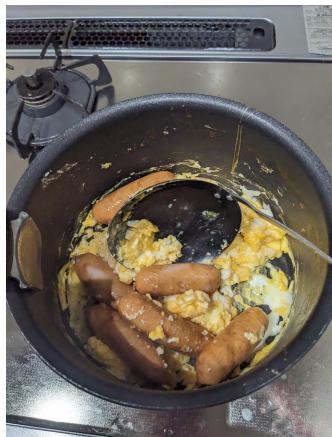
鍋に油をひいて熱する



卵を割り入れてとく



スクランブルエッグ状態になったら



ソーセージを入れて更に炒める



軽く火が通ったら水を200cc入れて



件のEBIOSビール酵母顆粒を



大さじ1入れる



フライドオニオンを大さじ2程度入れる



塩こうじを大さじ1入れる



そのまま煮込んで塩で味を調える



最後に器に盛りつけてソーセージ付属のマスタードをかける

味と今後の課題

最後に味見をしたため味覚的には問題なかった。特にフライドオニオンを入れたことでエビオスピール酵母特有の苦みが緩和された。しかしまたま冷蔵庫の中で賞味期限が迫っていた卵とソーセージを使用したため、宇宙空間食とは程遠いものとなった。これらを踏まえて今後再試行する。

HM（ホットケーキミックス）について

HMは炭水化物と糖類を楽しみながら摂取する食材として有望である。

世間ではパンケーキミックスとして売られているため入手はしやすいが、宇宙空間では小麦生産は比較的大規模な施設で長期間必要とされるため入手難易度が高い。

それを改善する為大豆粉 + 馬鈴薯でんぶんを使用するHMを推奨したい。（馬鈴薯もエアポニックス技術が必要ではあるが生産期間が短め）タンパク質約20g/100gの為大豆粉で2割ほど炭水化物を節約できる（マルコメダイズラボ大豆粉でおいしいパンケーキミックス使用）

宇宙で何を栽培するか

これまでの考察により、宇宙空間での食糧自給には炭水化物ベースのカロリーが不足する傾向がある。穀物の生産は長期間にわたるためである。

そのため生産を想定する作物を以下のように選定した。

一人当たりの必要栄養素

一人当たりの 必要重 量/day	カロリー kcal/100g	タンパ ク質 g/100g	一人当たりの カロリー 数/day	一人当たりの タンパク 質/day
ジャガ イモ	1700	59	1.8	1003
ダイズ (エダマ メ)	1050	125	11.7	1312.5
レタス	150	13	0.8	19.5
チング ンサイ	100		9	0.6
パクチ ー	100		18	1.4
イチゴ	500	31	0.9	155
トマト	200	20	0.7	40
キュウ リ	100	13	1	13
シイタ ケ	200		25	3.1
ブナシ メジ	200		26	2.7
アラゲ キクラ ゲ	100		14	0.7
合計				14

欲しい作物 イコール 生産する作物ではない

そのためにここまでカロリー量の大部分を豆類に頼ってきたが、長期の滞在には身体組成維持の観点から不適である。

炭水化物の確保

炭水化物摂取の為可能であればイネ・コムギ類を栽培したいが、完全水耕栽培に成功したという事例はない。

小惑星や大型居住コロニーであれば地上と同様の環境を整えて...となるがここでは小規模長期滞在型コロニーや長距離移動型宇宙船での無重力下における使用を想定したい。

冒頭の項目【宇宙農業の必要性】にて解説したとおり、大型建造物組み立てや惑星入植時には必要な作業中に滞在する宿泊施設（所謂飯場）や長距離長期間輸送が必要なためである。

そのため完全水耕栽培に適していて比較的生産期間の短いジャガイモを栽培することを想定した。

タンパク質の確保

エダマメは水耕栽培可能なため引き続き栽培を想定するが、これまでの考察ではエダマメに頼りすぎていた。弊害として植物性タンパク質偏重による身体不調も問題視されている。

酵母菌を培養してタンパク質の植物性偏りを補正する

前項の【宇宙酵母菌の可能性】で解説したとおり、植物性タンパク質偏重を是正するため培養槽で生産できる酵母菌使用を想定する。

作物収量計算

以上をもとに、作物の収量計算を行った。

一人当たりの必要重量/day	一作当たりの生産量/g/m ²	一作当たりの栽培日数/turn	1日当たりの生産量/g/m ²	一人当たりの必要な面積/m ²	100人で必要な面積/m ²
ジャガイモ	1700	8000	360	22	77.2
ダイズ(エダマメ)	1050	1400	100	14	75
レタス	150	2500	30	83	1.8
チンゲンサイ	100				
パクチー	100				
イチゴ	500	17000	360	47	10.63
トマト	200	83000	360	231	0.9
キュウリ	100	70000	360	194	0.5
シイタケ	200				
ブナシメジ	200				

一人当たりの必要重量/day	一作当たりの生産量/g/m ²	一作当たりの栽培日数/turn	1日当たりの生産量/g/m ²	一人当たりの必要な面積/m ²	100人で必要な面積/m ²
アラ					
ゲキ	100				
クラ					
ゲ					
<hr/>					
合計					

※宇宙航空研究開発機構特別資料 JAXA-SP-19-001 30p 表3.5より菌類以外の一部数字を引用

栽培ユニットカートリッジの改良

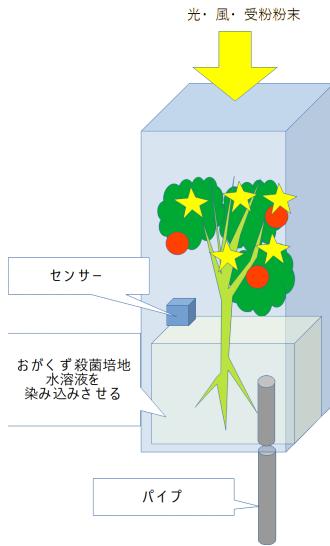
前項【内部に設置する栽培ユニットカートリッジ】にて想定した栽培部分には作物による差異を考慮していなかった。ここでは重要な作物であるエダマメに適した栽培ユニットカートリッジを考察したい。

總統との計算千本ノック

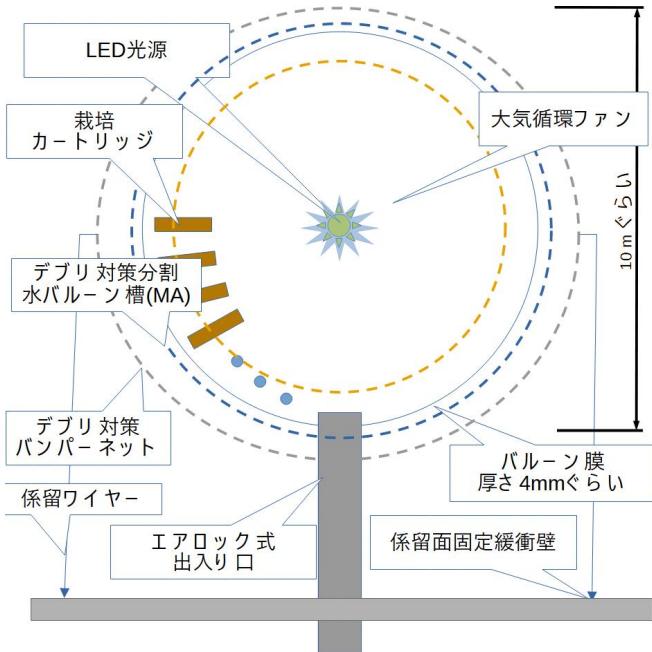
まず、宇宙空間にて実現可能な強度と輸送重量を兼ね備えた案を考察するため總統と共に議論と計算を重ねた。

第一案　はじめからちゃんと考えていたのです

こちらが当初案となる。

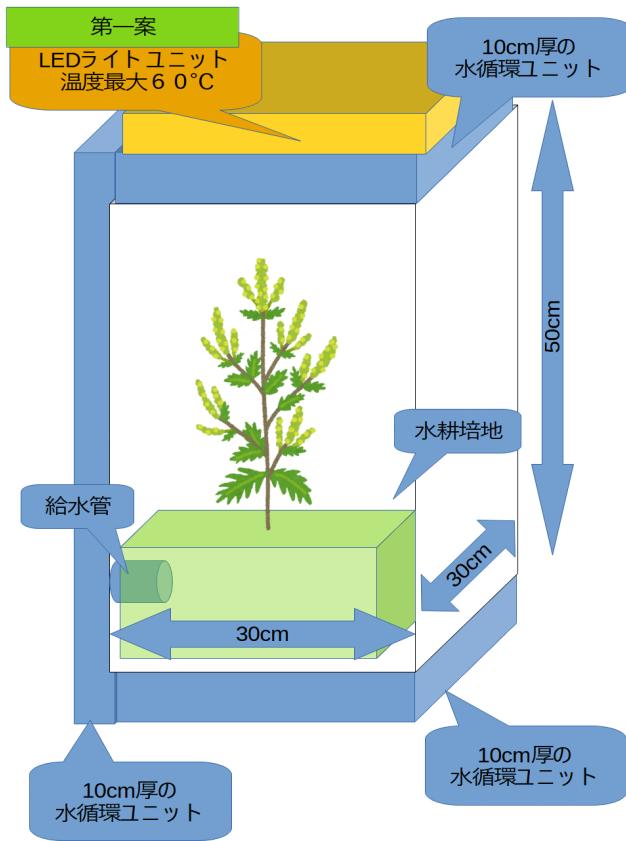


この栽培ユニットの光源は当初、下図のように栽培バルーンプランツの中心部に配置する予定であった。



この図では中心に光源があり温度が高くなると想定された。植物の栽培に必要な光飽和点は最低でも10000ルクス必要となる。直射日光は地上で10000ルクス LED電球で60wタイプのもので4m離した場合、8ルクス 1250個で消費電力一個8w計算で10000w、発熱量は6000wとなる。

熱量が膨大となり冷却が大変なため、これを再検討したい。発熱を充分冷却するために光源を栽培ユニットカートリッジに付属する形で設置してみることにした。



当初想定した案をディテールアップし総統から指摘を受けていたLEDユニットの温度上昇を対策する為水循環ユニットをつけた。

しかし、ユニットそのものの重量計算において水を含む水循環ユニットの重量がかなりの重量となる。

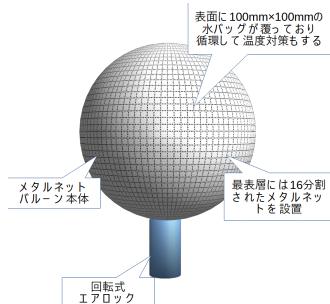
	サイズ(cm ³)	比重	質量(kg)
作物育成ユニット(0.5厚)	145	1.2	0.174
水循環ユニット（含む水）	18000	1	18
LED照光ユニット	1350	1	1.35
育成用培地	9000	0.1	0.9
弁付き給水管・吸排気管			0.15
エダマメ生体			1
育成用培地固定網			0.09
冷却ファン			1
制御ユニットおよびセンサ			0.01
培地用水			
計			22.674

栽培バルーンプラントの想定構成上、栽培ユニットカートリッジ一つ当たり4.6kg程度に抑える必要があった。

改善する為に水循環ユニットを用いない方向で次の案を考える。

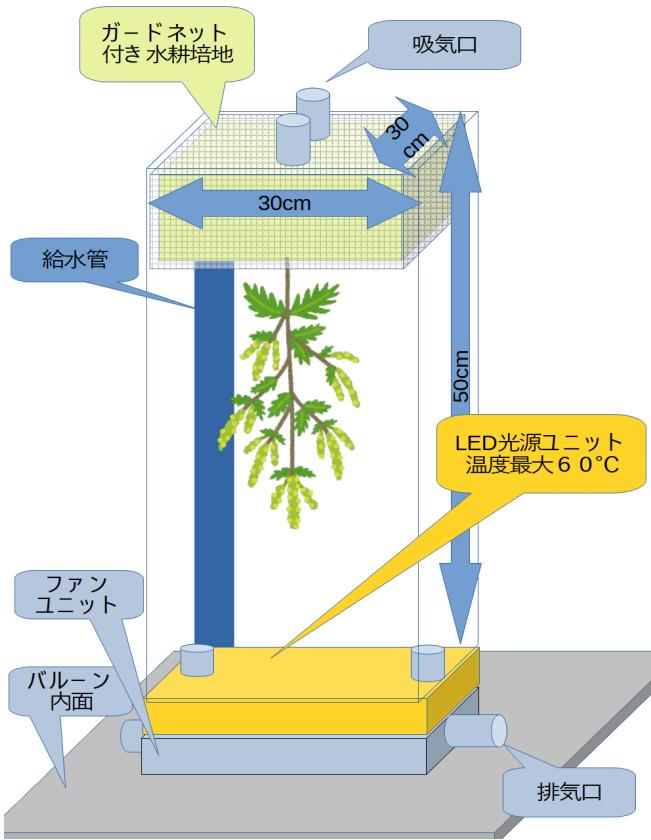
第二案 物理法則の壁

水循環ユニットを省略するため、武者鎧を活用し



栽培ユニットモジュールを上下反転して武者鎧の水循環にてLEDユニットの冷却を試みた。更に栽培ユニットカートリッジは気密性を考慮していないため冷却と空気循環の為下部にファンユニットを付け上部から排気するようにした。

第二案



この案では栽培ユニットをカートリッジを設置する栽培プランターバルーン内を1気圧とした。

しかし栽培プランターバルーンの強度が不足するため、まずバルーン内圧力を再検討する。

バルーン直徑m	バルーン表面積m ²	バルーン厚さm	比重	バルーン重量t	付属	シリング材質	破断強度MPa	気圧	圧力(Pa)	張力(kgf/cm)	耐圧強
10	314	0.002	1.1	0.6906	エコゴム	25	1	1013305169.8979591837			
10	314	0.0018	7.85	4.43682	エコゴムS45C	7038	1	1013305744.3310657598			
10	314	0.0018	1.3	0.73476	ポリカーボネート	60	0.06	6079.34446598394558			
10	314	0.0018	1.3	0.73476	ポリタラン	100	0.06	6079.34446598394558			
10	314	0.0018	1.3	0.73476	ポリブレンド	40	0.06	6079.34446598394558			
10	314	0.0018	1.3	0.73476	ポリイミド+ヒムキ	325	0.06	6079.34446598394558			
シリング直徑m	シリング表面積m ²	シリング厚さm	比重	シリング重量t	付属	シリング材質	破断強度MPa	気圧	圧力(Pa)	張力(kgf/cm)	耐圧強
0.25	0.3925	0.00335	1.1	0.01446362545		82	0.52	52691.680.24916231508			
0.25	0.3925	0.00335	1.3	0.017093375	塩化ビニル	50	0.52	52691.680.24916231508			
0.25	0.3925	0.00335	1.4	0.01840625	PET	73	0.52	52691.680.24916231508			
0.25	0.3925	0.00335	1.44	0.0189342	アラード	2920	0.52	52691.680.24916231508			

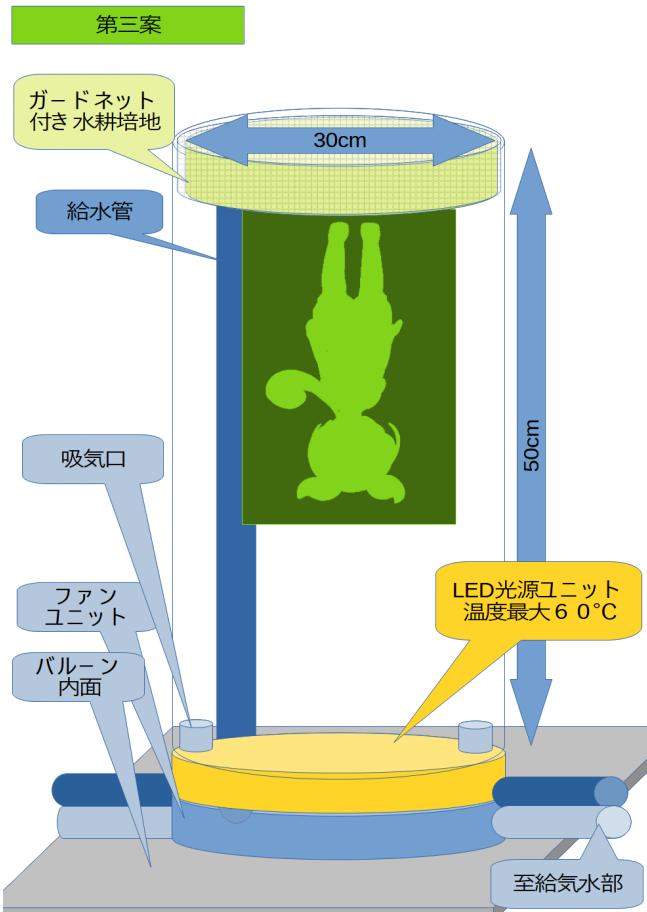
プラントのバルーン部は内圧を当初 1 気圧で考えていたが、素材の問題により0.1気圧とする。

和紙 + こんにゃくというのはWW2の太平洋戦争にて旧日本帝国軍が開発した風船爆弾の風船部分である。

このように栽培プラントバルーンは0.1気圧にて高強度の非金属を使用する事を前提とした結果、栽培ユニットカートリッジを気密化し内圧差に耐える必要があり、強度不足の懸念があつたため次案を考えた。

第三案 シリンダーと内圧差

この案からはエダマメの認知を高めるためずんずんPJより「ずんだもん」のキャラクターを使用する。



前項にて栽培プラントバルーン内部の気圧を材質の都合上低下（0.1気圧）

そのため栽培ユニットカートリッジ内部（0.5気圧）との内圧差が生じるようになった。それを考慮して栽培ユニットカートリッジを圧力に強いシリンダー型とした。シリンダーの直径を25cmと小さくする。

シリ ンダ 直 径 m	シリ ンダ 表面 積m ³	シリン ダ厚さ m	比 重	シリン ダ重量t	材 質	破断 強度 MPa	気 圧	圧力 (Pa)	張力 (kgf/cm)
0.25	0.3925	0.00335	1.1	0.00144	AS	82	0.52	52691.6	80.249
0.25	0.3925	0.00335	1.3	0.00170	塩 化 ビ ニ ル	50	0.52	52691.6	80.249
0.25	0.3925	0.00335	1.4	0.00184	PET	73	0.52	52691.6	80.249
0.25	0.3925	0.00335	1.44	0.00189	ケ ブ ラ ー	2920	0.52	52691.6	80.249

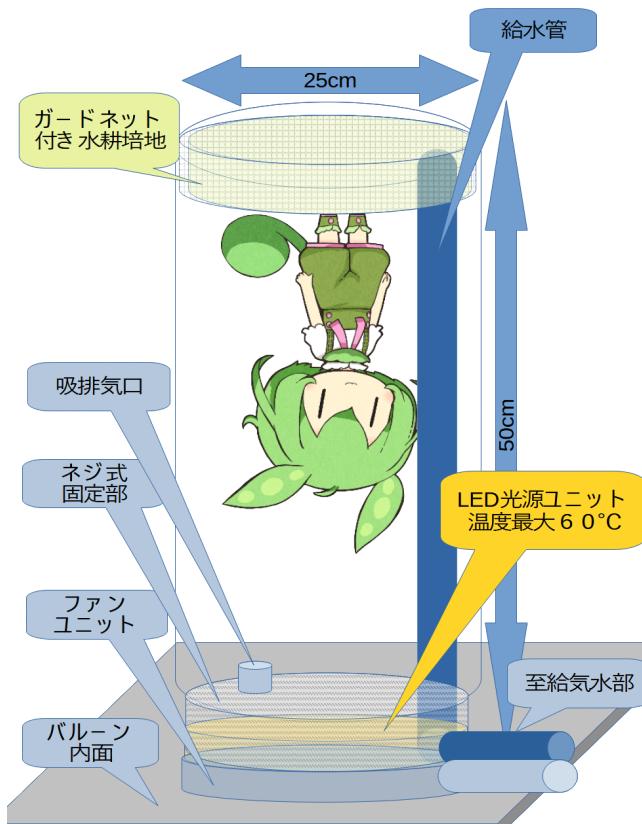
※ASはアクリロニトリルスチレン、PETはポリエチレンテレフタレートの略である。

シリンダー内圧が0.5気圧、外部（プラント内）が0.1気圧の場合強い力が外部に向けかかる。

内圧差により蓋やシリンダーそのものが飛び出す可能性があるため次案を考える。

第四案 内圧との戦い

第四案



内圧に耐えるため、栽培ユニットカートリッジの蓋を押しバルーン内部にねじ切りをした基部を設置することで解決しようとした。所謂ペットボトルを逆さにしたような構造となる。また給排水気部分を一つづつにすることで構造の簡素化と重量低減を狙った。

	サイズ(cm ³)	比重	質量(kg)
作物育成ユニット側面	1300	1.1	1.43
作物育成ユニット底面	171	1.1	0.188
作物育成ユニット接続部	75.36	1.1	0.082
ユニット接続受け部	77.244	1.1	0.084
水循環ユニット（含む水）	18000		0
LED照光ユニット	1350	1	1.35
育成用培地	9000	0.1	0.9
弁付き給水管・吸排気管			0.15
エダマメ生体			1
育成用培地固定網			0.09
冷却ファン			1
制御ユニットおよびセンサ			0.01
培地用水			
		計	6.284

4.6kgを超えてしまっている。もっともLED照光ユニットを個別にもつ時点では嵩むのだが…

しかしそれでもねじ切り部含め内圧差に強度が足りない・重量がかさむとのことで次案を考える。

第五案 総統のネタバラシ



当然総統も代案を考えていたようで、お互い時間と労力その他リソースが尽きたため総統の代案を書き起こした。

当初は栽培ユニットカートリッジを硬質素材による再利用を考えた構造を想定していたが思い切って使い捨て前提の構造とし、メンテナンスや収穫の度にロール状のパウチを引き出して上部を加熱圧着することで圧力に耐える構造とする。

ここまでくると栽培ユニットカートリッジとは言えないため今後は栽培ユニットパウチと呼称する。

またLEDユニットは再び外装とし太陽光と併用するものとした。遠隔／自律ロボットによる栽培作業負荷低減も狙っている。

	サイズ(cm ³)	比重	質量(kg)
作物育成ユニット側面	300	1.1	0.33
作物育成ユニット底面	171	0	0
作物育成ユニット接続部	75.36	0	0
ユニット固定クランプ部	77.244	1.1	0.084
クリップ		1	
水循環ユニット（含む水）	18000	0	0
作物育成ユニットロール	900	1.1	0.99
LED照光ユニット	1350	0	0
育成用培地	9000	0.1	0.9
弁付き給水管・吸排気管		0.15	
エダマメ生体		1	
育成用培地固定網		0.09	
冷却ファン		0	
制御ユニットおよびセンサ		0.01	
培地用水			
		計	4.554

ようやく栽培ユニットパワーチーを4.6kg以内に抑えることができた。

闘い終わって…

当初は硬質素材による栽培ユニットカートリッジを採用することで、植物の差異を吸収し効率よく配置し栽培することを考えていた。

しかし限られたスペースの有効活用と環境に対する素材の考察を深めると、ユニットカートリッジとプラントバルーンそのものの変化を余儀なくされる事となる。

エダマメ一つの栽培ユニットを最適化するだけでこれだけ仕様が変わりもはやカートリッジとは言えず（表記が栽培ユニットパウチと変わったのはその為である）栽培プラント自体の構造にも影響を与えた。作物が増えればそれだけ考察や変更も増えるだろう。

これからも変化すると容易に想像できるが、恐れずに考察を続けていきたい。

今後の展開

第五案をもとに只今実験・検証中である。



プラント設計と収支

栽培ユニットを設置する栽培プラントバルーン内を1気圧とした。

しかし栽培プラントバルーンの強度が不足するため、まずバルーン内圧力を再検討する。

バル ーン 直徑 m	バル ーン 表面 積m ²	バル ーン厚さ m	比 重	バル ーン重 量t	材質	破断 強度 MPa	気 圧	圧力 (Pa)	応力 (MPa)
10	314	0.002	1.1	0.7	スチレ ンブタ ジエン ゴム	25	1	101330	1250
10	314	0.0018	7.85	4.4	鋼鉄 S45C	7038	1	101330	500
10	314	0.0018	1.3	0.7	ポリカ ーボネ ート	60	0.1	10133	417
10	314	0.0018	1.3	0.7	ポリウ レタン	100	0.1	10133	417
10	314	0.0018	1.3	0.7	ポリプ ロピレ ン	40	0.1	10133	417
10	314	0.0018	1.3	0.7	和紙+ こんに ゃく	525	0.1	10133	417

プラントのバルーン部は内圧を当初1気圧で考えていたが、素材の問題により0.1気圧とする。

和紙+こんにゃくというのはWW2の太平洋戦争にて旧日本帝国軍が開発した風船爆弾の風船部分である。

このように栽培プラントバルーンは0.1気圧にて高強度の非金属を使用する事を前提として次案を考える。

宇宙レシピ

宇宙で生産できるものを使ってできるごはん 前項【宇宙農園メニューの試作】にて試作を行ったわけだが、詳細な作物選定を行ったため改めて試作を行う。

栄養補給のために酵母を使ってみた

今回は【宇宙酵母菌の可能性】にてビール酵母を使った料理を試作してみた。ありあわせの材料を使ったため宇宙には不適合であったが、ここから得た知見をもって今回の試作に臨む。ビール酵母についての知見は以下の通り

ビール酵母は味覚に大きな影響を及ぼす

少し苦味が加わるためネギ類や香菜などで調整する必要がある。

パン酵母を使用すると細胞壁が壊れていないため必要量増加

元々栄養摂取を目的としない商品の為必要量が増える上に、ビール酵母並みではないとしても味覚への影響がある。

レシピ1 主食になりうる食事

以上を踏まえて今回はビール酵母を使用した。パン酵母を使用したレシピは今後HMにて試作する予定である。

菌類の食彩 三日月芋添え

実践！レシピ公開



材料はこれら。



材料	数量	重量g	カロリーkcal	タンパク質g
ブナシメジ	1株	330	85	8.9
エダマメ（むき）	0.3袋	60	78	6.3
パクチー	1束	39	7	0.5
ダイズミート	0.2袋	30	116	13.2
塩こうじ	大さじ1	15	29	0.4
食塩	適量	2	0	0
冷凍フライドポテト	1袋	110	133	2.0
エビオスピール酵母	大さじ1	15	48	8.2
醤油	大さじ1	15	12	1.6
合計		616	508	41.1

※ブナシメジ、パクチーは日本食品標準成分表（八訂） 増補2023年より。それ以外は商品パッケージ記載成分より。

醤油が宇宙で生産可能かについては後記する。

挑戦した画像がこちら



ダイズミートを30g、これは乾燥しているため...



お湯を200ml入れて5分待ち



ダイズミートを食べられる硬さまで戻す。



ビール酵母を大さじ1



塩こうじを大さじ1入れて混ぜる。



ブナシメジは石突を取り、ばらして洗って水を切る。



よく混ぜておく。



冷凍工ダマメはそのまま使うが、火が通るよう注意しないといけない。



食塩を2～3振り。



よく混ぜておく。



パクチー一束を根元を切って洗う。



入れて混ぜ、蓋を閉める。密封してしまわないように注意。



ジャガイモは今回別添とした。袋のまま調理できるフライドポテトが簡単に買えるのはありがたい。



レンジ対応袋のため、注意書きに沿ってそのまま電子レンジで加熱する。



こちらも電子レンジで加熱していく。まずは600wで3分。



ここで禁断の？醤油が登場。日本人の食には欠かせない。



大さじ 1 は結構濃い感じがするが、それほど塩辛くはない。



よく混ぜていく。蓋をして電子レンジ600wで2分加熱する。



これで完成。容器が熱いので気を付けて運び…



実食！前回同様歯ごたえはある。



味に変化をつけたくて、とうとう味噌を使ってしまった… フライドポテトを汁に浸けてもおいしい。

実食...

食べてみて感じたのだが、ダイズミートは代替肉とは程遠いものであり崩した油揚げのようである。唐揚げ等のレシピもあるが、搾油生成物活用とはいっても調理上創意工夫が必要ではないかと思う。料理としての食感そのものはブナシメジとエダマメにダイズミートとパクチーが追加されたため変化を楽しめた。ダイズミートの戻し汁もそのまま使用したためスープのような状態になった。

また栄養成分的には前項【宇宙で生産する作物】にて算出したカロリー及びタンパク質を一食当たりで下回った。大豆より產生される大豆油を25g(221kcal)、大豆ミートを30g、エダマメを40g 加えれば充当できるだろう。

フライドポテトを増やすことも考えたが、もっさりしていて口内が乾き必要量とされた1日当たり1.7kg、一食当たり567gはとても食べられないと考えるのは筆者が日本人だからか。

あと味付けに醤油を使い更に味噌を加えてしまった。やはり調味料が塩と塩こうじのみでは筆者のような日本人には厳しい。

地上から軽量なものは持ち込めるという前提で麹菌や納豆菌、スパイス類を持ち込み栽培できるものは栽培して納豆味噌醤油などを発酵生成という流れにする必要があると感じる。次回以降に反映させたい。

レシピ2 甘いものも欲しいですよね

ビール酵母は苦みが強めである。よってパン酵母も試してみたい。

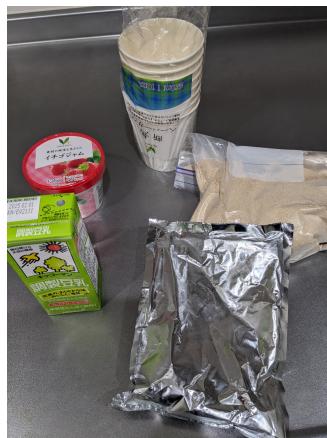
せっかくパン酵母を使うのであれば、スイーツを作つてみたいと思う。前項【宇宙空間で作る作物】により宇宙空間で小麦の使用は今回想定していないため、大豆粉と馬鈴薯（ジャガイモ）でんぷんを使用したHM（ホットケーキミックス）を使用する。

実践！レシピ公開



メインとなるHM（ホットケーキミックス）はマルコメのダイズラボ 大豆粉でおいしいホットケーキミックスを使用した。

材料はこちら



材料	数量	重量g	カロリーkcal	タンパク質g
HM（大豆粉ベース）	1袋	125	495	24.2
イチゴジャム	1瓶	18	42	0.1
豆乳	1パック	180	95	6.4
パン酵母	1袋	18	43	8.1
合計		616	508	41.1

※商品パッケージ記載成分より。

カップケーキとするため紙コップ6個を用意する。

挑戦してみた画像はこちら。



HMを紙コップに20gづつ入れる。



それを6個作る。余ったら各々のコップに分散してよい。



パン酵母を3gづつ入れる。



6個すべてに入れる。余っても決して追加してはいけない。



豆乳を30gづつ入れていく。



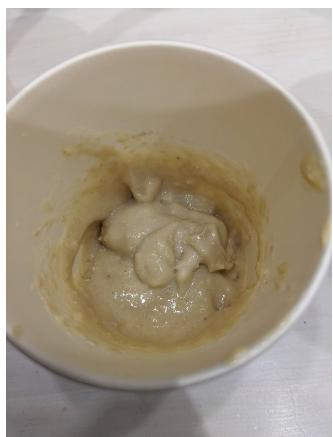
正確には30mlだがほぼ30gとみてよいだろう。



6個作る。



だまにならないよう手早く混ぜる。粉の部分が無いように。



良くかき混ぜたらスプーンについていた生地も入れておく。



6個作る。



室温で3時間寝かせる。パン酵母が活性化し気泡ができ少し膨らむ。



上にイチゴジャムを乗せる。



小さじ1づつ乗せていく。



6個作る。



電子レンジで600w 5分加熱する。粉っぽいようなら追加で少しづつ加熱する。



中まで熱が通っているようだ。



流石にイチゴジャムだけでは甘さが足りなかったので、メープルシロップを少々垂らす。



パン酵母の苦味もいい感じに中和される。



飲み物はハーブティーが合う。

実食...

基本的に電子レンジで焼いたHMなのでフワフワ感はないのだが、パン酵母を栄養補給とはいえ入れすぎて味に影響（苦味）が出てしまった。

その為イチゴジャムでは中和が足らずメープルシロップに頼ってしまう。

イチゴジャムを増やしても良かったのだが、他に宇宙空間で栽培できるものを使って解決できるよう今後も考察を続けたい。

あとがき

変更履歴

- ・秋葉原ロボット部2024年6月定例会にて発表した資料に加筆修正。
- ・2024年6月29日に開催されたABC（Android Bazaar Conference）にて追補。
- ・2024年7月27日に開催されるOSC(Open Source Conference) 2024 Kyoto 向けに修正。
- ・2024年9月7日に開催されるNT東京向けに追加・再構成。
- ・2024年9月14日に開催されるNT富山向けに追加・再構成。

注意とこれから

既に秘密結社オープンフォース総統(@nanbuwks)より各種指摘を受けているが、現在までの予想図として寄稿した。

宇宙関連は様々な技術と知見の総合格闘技である。そこへ一介の素人が妄想した「未来想像図」として御笑覧されたい。

もしこうしたい等の知見や研究があるならば、我々にぜひ拝見の機会を頂きたく思う。食糧問題は喫緊の課題であり解決できるソリューション案は多いに越したことはないからである。

既に総統による案考察千本ノックを受けているが、案の数はまだ足りないと考えている。

今こそ人類の英知を結集する必要があると考え、本稿が結集のためのたたき台になることを願いつつ筆を置く。

...俺たちのたたかいはこれからだ！



SpaceFarmProject

Ver.20240907

2024年6月22日 初版

2024年9月 7日 NT東京版

著者 @busyoucow (Secret Societies OpenForce)