

## 第 2 3 回衛星設計コンテスト

### ミッション概要説明書

事務局使用欄

受付番号

年 月 日

応募区分 アイデアの部

#### 1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） 微小重力環境下加熱調理器 Dekitate			
作品名 副題（これは公式文書では省略する場合があります） 副題 微小重力環境下における熱風を利用した加熱調理器			
	氏名(フリガナ)	所属学校<大学>等, 学部, 学科(研究室)	学年
代表者(正)	小沢堯也 (オザワタカヤ)	東京工業大学, 理工学研究科 機械宇宙システム専攻, (小田・野田研究室)	修士 1 年
代表者(副)	小川睦大 (オガワムツヒロ)	理工学研究科, 機械宇宙システム専攻 (大熊・坂本研究室)	修士 1 年
メンバ1	石井友 (イシユウ)	総合理工学研究科, 人間環境システム専攻 (松岡研究室)	修士 1 年
メンバ2	後藤宏太 (ゴトウコウタ)	理工学研究科, 機械宇宙システム専攻 (大熊・坂本研究室)	修士 1 年
メンバ3	渡邊輔祐太 (ワタナベフウタ)	理工学研究科, 機械宇宙システム専攻 (松永研究室)	修士 1 年
メンバ4	佐々木謙一 (ササキケンイチ)	工学部, 機械宇宙学科 (松永研究室)	学部 4 年
メンバ5			
メンバ6			
メンバ7			
メンバ8			

#### 2. ミッションの概要（プレスリリース等で使用するので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

人間が生活する上で食事は必要不可欠であり、食事を楽しむことが快適な生活に繋がると考えられる。しかし、あらゆる制限が存在する国際宇宙ステーション内では食事、特に調理方法に制限が存在し、できたての料理を楽しむことが難しい。そこで我々は、国際宇宙ステーション内で利用可能な、できたての唐揚げやステーキといった食事を宇宙飛行士に楽しんでもらえる新たな加熱調理器を考案した。

#### 3. ミッションの目的と意義（目的・重要性・技術的／社会的意義等）

##### (a) 背景・目的

現在、宇宙食は 180 種類以上存在し、以前までのチューブ・ペースト状の宇宙食と比べ飛躍的に進歩している。しかし、これらは生鮮食品があるとはいえ、ほとんどがレトルト食品や加水食品、缶詰などである。国際宇宙ステーション（以下 ISS）には現在電気オーブンが存在するが、上記の食品をあたためる程度に過ぎず、地上で食べることでできるできたての食事と比べると味・食感・種類において劣ることは言うまでもない。そこで本ミッションは、ISS で揚げる、焼く、蒸す、炒めるなどの調理がボタンひとつで可能かつ素早くできたての料理が提供できる調理器を考案・検討し、実際に ISS で使ってもらえる加熱調理器の提案を行うことを目的としている。

#### (b) 重要性・技術的／社会的意義等

人が生きる上で食事は必要不可欠なものである。また、食事を楽しむことは快適な生活に繋がると考えられる。特に娯楽の少ない ISS 内部での食事は娯楽の 1 つであると言え、食事の環境を整える事は重要であると言える。既存の ISS での食事では限られた味や種類しか実現できないため、地上で行われている複数の調理方法を ISS 内で実現可能にすることは食事の嗜好性を高めるだろう。また、地上での加熱調理には自然対流など重力による影響が密接にかかわっており、微小重力環境下ではその環境の差による問題が生じてくる。本ミッションは ISS という微小重力環境下で加熱調理する際の問題を克服し、宇宙飛行士により豊かな食事の提供を可能にする。

#### 4. ミッションの具体的な内容

##### (a) システム

本ミッションは ISS において熱風を利用し調理を行うものである。宇宙飛行士は冷凍庫に保管されていた食材を入れたバケットを本体に固定し、ボタンを押すだけで調理が始められる。バケットは 1 人前の量が入る程度の大きさになっており、筒状の形の底面に網を張った構造になっている。熱した空気をファンの正回転・逆回転を利用し、送り込む方向を切り替えることで食材は容器内を左右に移動する。それによって食材が回転、分散することによりムラがない調理が可能になる。調理ごとに適した湿度管理を行うため、乾燥剤を用いたフィルターや加湿器によって湿度を調整する。一定時間後に調理を終了し、固定解除を行い、バケットを外すことでそのまま食事を行うことができる。以下に本機構の独自の機能の 1 つである、微小重力環境下における「揚げる」調理方法について、唐揚げを例に具体的に説明する。

- 1, 冷凍保存された唐揚げ 1 人前 (約 200g) を入れたバケットを本体に固定する。(図 1 の ①, ②)
  - 2, 調理開始ボタンを押す、ヒーターとファンを稼働させる。(図 2)
  - 3, 調理方法に適した温度・風速を維持しつつ一定時間熱風を循環させる。唐揚げの場合、油を使わず 200°C で 10m/s の熱風を当て表面の水分を飛ばしながら、数回の風向の逆転を挟み 15 分 30 秒間加熱する。(図 2 の ①)
  - 4, 調理終了後は、安全のため取り出す前に、排気タンクの常温の空気と加熱した高温の空気を混ぜ、冷却しつつ排気する。(図 2 の ②)
  - 5, 内部の高温の空気を取り除いた後、本体からバケットを外す。(図 1 の ③, ④)
  - 6, バケットからふた部分を外す。バケット本体はそのまま食器として使用することができる。
  - 7, 箸などを利用して、出来たての唐揚げをやけどに注意しつつ美味しくいただく。
- 以上が唐揚げの具体的な調理方法である。なお連続調理を行う場合は、5 の作業後新たなバケットを用意し 1 から作業を行う。

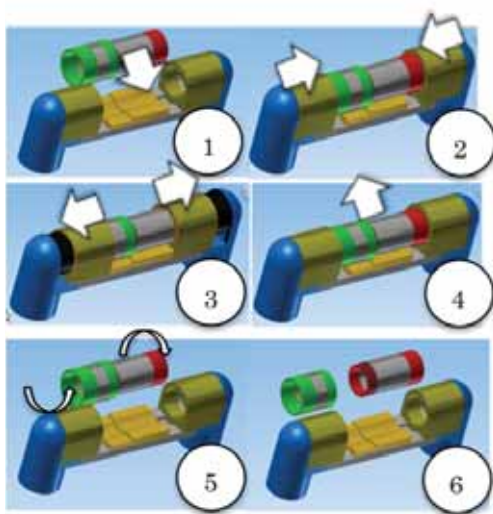


図 1 調理の一連の流れ

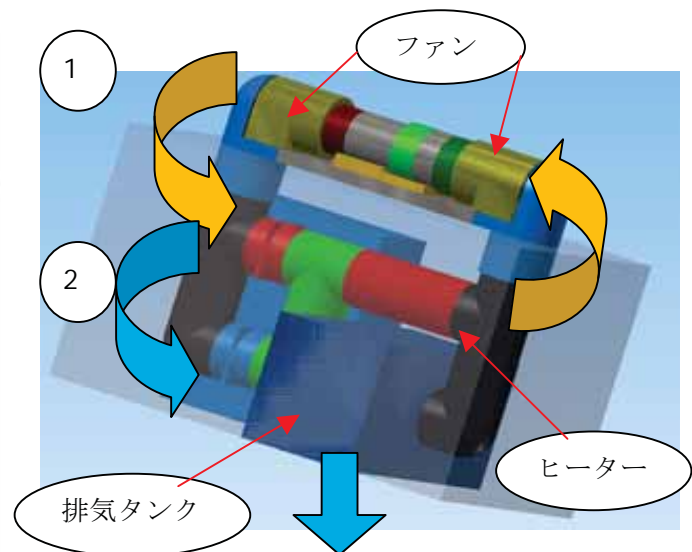


図 2 外観図

また、「揚げる」以外の調理方法の特徴は以下に記す。

- ・ステーキなどを「焼く」、チャーハンなどを「炒める」調理方法は、「揚げる」に比べ要求される温度や風速のレベルは低いが、「炒める」場合は送風する方向の逆転回数を特に多くしムラをなくす。
- ・シューマイなどを「蒸す」調理方法は、加湿器により湿り飽和蒸気の状態を 100℃ で維持しつつ加熱を行う。食材表面にできる水の膜を、重力の代わりに流動させられる風速が求められる。

#### (b) 具体的な実現方法、もしくは実現のために必要な課題・開発すべき項目

ISS にて使用するものの設計を行うに当たって以下のような項目のそれぞれの要求を考える。

「消費電力」、「発熱」、「食材を調理することができる機構」、「安全」、「寸法」、「電磁波」、「騒音対策」、「脱臭」など

本機構は熱風を用いるため電磁波は発生しない。また、防音シートや脱臭炭を用いることを考える。本機構を設計するにあたって本解析書では消費電力、発熱量、調理方法、安全対策、寸法、保存方法、飛散対策の要求を満たすよう設計を行う。具体的な計算内容は解析書に記してあり、既存の技術でも十分実現性がある結果になっていると言える。しかし、計算の際に簡略化した計算式を利用している箇所があり、さらに宇宙空間における問題において、考えきれていない問題もあるとするため、現在の計算結果からすぐに実用化には至らないものと考えられる。そのため、今後実現を目指すためには、

- ・ 本装置の試験機を作成し、地上で安全面に十分な信頼性が得られるまで試験を行う
- ・ 擬似宇宙空間での運用試験を行い、内部の食品の挙動や熱量調整、調理時間などを調整する
- ・ より熟考した安全対策を製作する
- ・ ISS 内にて試運転を行い、実際の運用に向けた調整を行う

といった段階を踏み実現を目指す必要があると考える。

## 5. 主張したい独創性や社会的効果

### (a) 主張したい本ミッションの独創性

本ミッションでは主に以下の独創性が考えられる。

- 1, ISS 内に存在し、温めるのみの機構である電気オープンとは異なり、加熱し調理をする。
- 2, 出来たての料理を宇宙飛行士に提供できる。
- 3, 一般的な重力を利用する調理方法とは異なり、重力を利用しない調理方法である。
- 4, 手間と時間をかけずに調理できる。
- 5, 1 台で複数の調理方法を実現できる。
- 6, 宇宙飛行士の食べられる食事のレパートリーを増やすことができる。

以上 6 点はいずれも宇宙で取る食事をより良いものにしようとする物であり、既存の方式に逆らうような独創性を持っていると考えられる。

### (b) 得られる成果・波及効果・対象となる受け取り手

得られる成果・波及効果は以下の通りである。

1, 宇宙空間における既存の技術にはない、複数の調理法による料理のできたて感やレパートリーの増加は、宇宙飛行士の食事に革命を与えるだろう。このような味、種類の発展は宇宙飛行士に充実感を与え、閉鎖的かつ娯楽の少ない ISS でのストレスを解消できると考えている。また、多くの種類の料理を取ることで彼らの健康維持を狙うこともできる。

2, 将来の宇宙環境における新たな食の在り方として、宇宙での調理を前提にしたサービスや生活の足掛かりとなることに期待できる。我々は、遠くない未来、食事を取る必要がある程長い時間のかかる宇宙旅行は実現すると考えている。その際、宇宙旅行を目的とした消費者にレトルト食品よりもできたての機内食を提供する方が喜ばれることは言うまでもない。本解析書にて設計した機器が近い将来、宇宙旅行での機内食の足がかりになる可能性は多いにあると考える。また、重力を利用しない調理器であるため、地球はもちろん、火星や月といった他の天体においても本機器を使用することで手間や時間をかけずにできたての食事をとることが可能であると考えられる。

3, 独自の調理方法が新たな料理を生み出す可能性がある。微小重力環境下を克服でなく生かすような料理が考案されれば、さらに食の嗜好性を高めてくれるだろう。

以上より、今回提案する調理器は宇宙に行く可能性のあるすべての人にとって非常に喜ばれるものであると言える。

以上



## 微小重力環境下加熱調理器 Dekitate

東京工業大学 小沢堯也, 小川睦大, 石井友, 後藤宏太, 渡邊輔祐太, 佐々木謙一

### 1. 序論

現在, 国際宇宙ステーション(以下 ISS)では常時 6 人の宇宙飛行士が長期滞在している. ISS のクルーにとって閉鎖空間での生活は過酷なもので, 同僚との会話がはずむ食事の時間は宇宙での生活において一番の楽しみである.

現在の宇宙食はレトルト食品や加水食品などが一般的で, 以前のチューブ・ペースト状の食事に比べ大幅に改善された. しかしいずれの宇宙食も保存食品を食べる形式は変わっておらず, 地上での食事に比べると質で劣るのは言うまでもない.



Fig.1 現在の宇宙食[1] Fig.2 ノンフライヤー[2]

そこで, ISS での食事環境を改善することを目的として, 宇宙でもできたての食事を食べられることを目指す. 実現する手段として ISS 内で利用できる調理器を考案する. 加熱を行う方法として, 熱伝導(例, 鉄板焼き)や熱伝達(例, 煮物や揚げ物), 熱輻射(例, 炭火焼やオーブン)などが考えられる. 以下の表 1 は Trade off study の結果である. 表は上からより重要と考えるものを並べており, 一般的な調理原理はほとんどが熱伝達であることや, 微小重力環境下での実現性などを踏まえて以下では熱伝達を用いた調理機を設計する.

Table 1 Trade off study

	熱伝導	熱伝達	熱輻射
調理方法の種類	×	◎	△
微小重力環境下での実現性	○	○	◎
風味/食味	○	○	○
新規性	○	○	×
調理時間(ステーキ)	○	△	×
消費電力	×	△	△

現在すでに ISS 内には電気オーブンはあるものの, レトルト食品の加熱に利用が限られている.[3] そこで焼く, 炒める, 揚げるといった調理方法を実現するため, 地上で使われている調理器を応用し ISS での利用を提案する. これらの調理器は数多く存在し, “ノンフライヤー” や “リクック熱風オーブン” などが挙げられる.[4] 200°C 近い乾いた熱風を空気の自然対流や強制対流を用いて食材に当て続けることで油を用いずに揚げ物を作ることができる.

上記の “ノンフライヤー” や “リクック熱風オーブン” は揚げ物以外にも肉や魚またはケーキなど焼く, 炒めることができる. これらは, 温度や風量を調整することで焼くことができる.

また, 揚げ物を作る際に乾いた空気を送ることが必要となっているため, 湿度のコントロールも必要であると考え. 提案する機構では湿度を上昇させることで蒸し器としての能力も有することができる考えた. これらの揚げる, 焼く, 蒸す, 炒めるといった調理の妥当性は詳細設計にてまとめる. これらの調理器は, 空気の対流を利用することで熱風を常に食材に当てることで調理することができる. しかし, 宇宙空間では重力がないことより自然対流は生じず, 宇宙空間で使用する場合には強制対流を用いる必要がある. そこで, 私たちは図 3 の概念図のような調理器を提案する. この調理器は面からもう一方の面へ熱風を送ることで強制対流を発生させ, 調理することができる. 微小重力環境下にて熱風を当て続けることで食材は速度を持ち, 移動してしまう. そこで食材を閉じ込めるように金網を設けることを考える. また, 常に一方向に熱風を当て続けることで調理にむらが出ることを防ぐために空気の流れを逆転させることを考える.

現在 ISS 内にはアイスクリームや冷凍のたこ焼きなど冷凍食品が存在し, ISS 内に存在する冷凍庫内で保管されている. 本機構における調理する食材の調達方法としては HTV などの輸送機に上記のアイスクリームなどと同様に冷凍して持ち込むことを考えている.

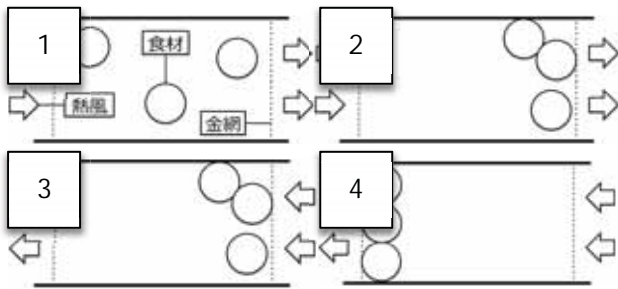


Fig.3 概念図

## 2. 設計

### 2.1 要求

ISS における以上のような調理器の設計を行うに当たって以下のような要求が考えられる。

- ・ 食材を調理することができる機構を有する
- ・ 消費電力を 2.0kW まで抑えることができる
- ・ 発熱を 50W 以下に抑えることができる
- ・ 安全対策を施すことができる
- ・ 寸法を 1m<sup>3</sup> までに抑える
- ・ 食材の保存方法において容積を取らない
- ・ 食品が飛散しない
- ・ 電磁波を発生しない機構である
- ・ 騒音対策を施している
- ・ 脱臭機能を有する

本機構は熱風を用いるため電磁波は発生しない。また、遮音シートや脱臭炭を用いることを考える。本機構を設計するにあたって本解析書では消費電力、発熱量、調理方法、安全対策、寸法、保存方法、飛散対策の要求を満たすよう設計を行う。

### 2.2 外観イメージ

設計を行うにあたって本調理器である“Dekitate”の各部分の名称を図4、表2にまとめている。

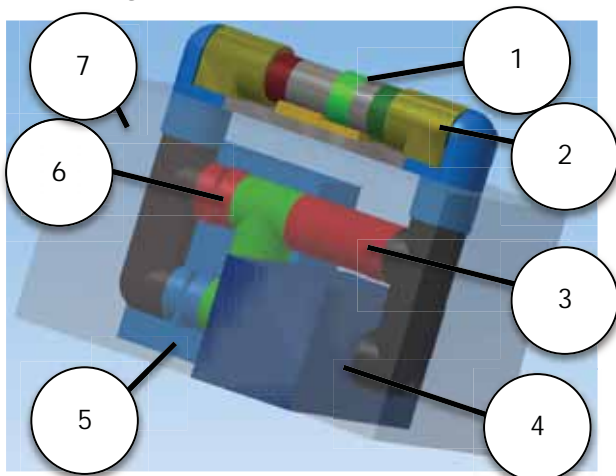


Fig.4 “Dekitate” 外観図

番号	名前	機能
1	バケット	冷凍した食材を入れた調理器にセットし、調理後はお皿として使用
2	固定部	バケットを固定 送風用のファンを持つ
3	ヒータ	空気を温める
4	排気タンク	冷却時用の空気を貯蓄
5	加湿器	蒸し器として使用
6	乾燥剤	湿度を管理
7	外枠	配管などの露出防止

### 2.3 形状の決定

要求項目より消費電力が抑えられかつ寸法を抑えた調理器を目指すことより、本機構は小型の物がよいと考えられる。形状としては球状、立方体、円筒などの形状が考えられるが、10m/sの熱風を図3の概念図のように熱風を用いることを考えるため流体力学の観点から円筒形上が本機構には適切な形状であると考えた。以上より本機構のコンセプトは円筒形上の調理空間をファンが挟むように配置され、熱風を送る。調理加減にむらが出ないように、ファンを逆回転させることで熱風の変化させて調理を行う。

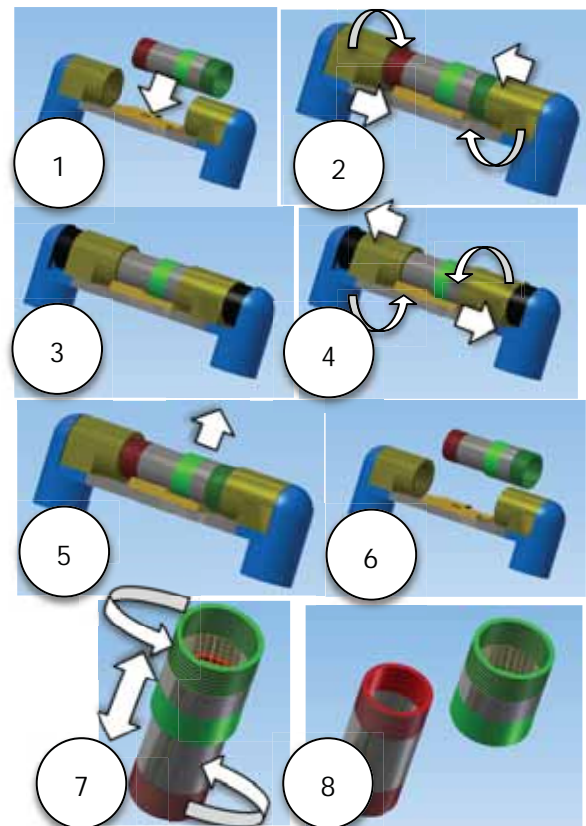


Fig.5 調理の一連の流れ

また、料理の取り出し方法としては食材の入っているバケットを取り外すことで食事を行うことができる。図 5 は調理のイメージ図であり、食材を入れたバケットを調理器に固定(①, ②)し、調理する。(③) 調理後固定部から取り外しを行い(④, ⑤, ⑥)、バケットはさらにねじることでお皿としても機能(⑦, ⑧)し、食後はバケットを拭き掃除し使い回す。

## 2.4 ファンの設計

本節では、ファンの選定に必要な流量と静圧の計算を行う。ここでファンの直径はバケット部及び配管部の直径となるため、小さいと静圧を高く設定する必要がある。さらに "Dekitate" では 1 人前の調理を想定しているため、大きすぎないバケット部の直径を設定する必要がある。そこでファンの直径を 100mm として計算を行った。円管内を流れる空気の流量  $Q$  は断面積と流速の積で示される。ここで、流速は先に述べた "リクック熱風オープン" の流速が 9.3m/s であることから 10m/s とすると、必要な流量は  $Q=7.85 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$  となった。

また、管路内の圧力損失は、

$$\Delta P = \lambda \frac{l \rho}{d} v^2 \quad (1)$$

で表される。表 3 に式 (1) における記号と計算値を示す。ここで、この流れのレイノルズ数は 28000 程度と乱流であるので、ムーディ線図より管摩擦係数を決定した。管の曲がりなどを考慮し余裕係数を 2 とすると、管路によって生じる圧力損失は  $P=67\text{Pa}$  となった。

Table 3 式 (1) における記号と計算値

$\lambda$	管摩擦係数[-]	0.04
$l$	管長さ[m]	0.35(バケット部)
		1.95(配管部)
$\rho$	空気の密度[kg/m <sup>3</sup> ]	0.722
$\Delta P$	圧力損失[Pa]	5.06(バケット部)
		28.2(配管部)

ここで食品が温風によってバケット内部の片側に偏った場合を考える。その場合、食品が金網に接触し温風の流れる流路断面積が少なくなり圧力損失が生じるものと考えられる。そこで 2.10 節で後述する各調理方法における圧力損失を計算した。内径 100mm のバケット内、かつ金網の表面上に収まる食品の最大個数を調べ[5]、残された流路断面積に急縮小し、その後バケット内径まで急拡大された際に生じる圧力損失を計算した。表 4 にその計算結果を示す。この結果より、食

品が偏った際に生じる圧力損失は管路によって生じる圧力損失以上に大きいことが分かった。この圧力損失に対する対策として、以下の方法を提案する。

- ① モータに流れる電流値を計測、負荷の状態によって電流を制御し、食品が詰まった際には逆回転させ詰まりを除去するなど、状況に応じた動作をするように設定する。
- ② モータとプロペラの伝動部分にベルト機構を使い、衝撃負荷時に滑るように設計する。
- ③ 試験運転を行い、圧力が足りない場合はファンを静圧が高いものに変更する。

上記 3 つの方法を組み合わせることによって食品の偏りによる圧力損失に対応できるものと考えられる。しかし、この値は実際の食品の形状、硬さによって圧力損失が変化すると考えられる。

Table 4 食品の偏りによる圧力損失

	残存断面積[m <sup>2</sup> ]	圧力損失[Pa]
揚げ	0.00304	83.26
焼き	0.00245	142.75
炒め	0.00094	1062.72

食品の偏りによる圧力損失は上記方法で解決できるとして、今回は管路によって生じる圧力損失がファンに必要な静圧であるとする。ファン形状は流れの逆転が容易なプロペラ型ファンを採用する。ここでプロペラ形状を  $\phi 100\text{mm} \times 10\text{mm}$  の円筒形状、定格回転数が 3000rpm、定格トルクが 1.3N・m のモータを使用すると仮定すると、モータが規定回転数に加速までに掛かる時間を計算すると、最も時間がかかる条件でも 0.2 秒程度であることが分かった。このように回転数の制御が高速に可能であることから、食品の偏りなどにもすぐ対応できるものと考えられる。以上より、本装置のファンは最低でも流量  $Q=7.85 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$ 、静圧  $P=67\text{Pa}$  以上の性能が必要となることが分かった。また、高温流体を扱うことや頻繁に逆回転させるなど特殊な条件での使用となるため、市販品のファンの流用は難しいものと考えられ、プロペラとモータを別に用意して組み合わせるなど、専門家の指導や実験の元で決定する必要があるものと考えられる。

## 2.5 給熱方法

"Dekitate" は熱風を循環させる。100% 熱風循環であるとする配管を含めた昇温に必要な熱量は、



$$Q = \frac{V \times \rho \times K \times \Delta T}{860 \times t \times \eta} \quad (2)$$

で表される.[6] 表 5 に式 (2) における記号と計算値を示す. 式 (2) の結果より, 熱損失を考えず, 昇温のみに必要な熱量  $Q=0.32\text{kW}$  となる.

Table 5 式 (2) における記号と計算値

$V$	空気の体積[m <sup>3</sup> ]	0.018
$\rho$	空気の密度[kg/m <sup>3</sup> ]	1.16
$K$	空気の比熱[kcal/(kg・°C)]	0.24
$\Delta T$	温度変化[°C]	180
$t$	昇温時間[h]	0.0167
$\eta$	効率[-]	0.2
$Q$	必要な熱量[kW]	0.32

また, 配管による熱損失を考え, 必要な給熱量が変わるため, 配管等の設計が決定した時点で合計の熱量を考える.

本装置は配管内にシーズヒータを配置することによって空気を加熱する. シーズヒータのワット密度を  $2\text{ W/cm}^2$ , ヒータ直径を  $12\text{mm}$  とすると, 必要熱量を  $0.32\text{kW}$  と仮定してこの熱量を得るためには長さが  $0.43\text{m}$  のシーズヒータが必要になる. シーズヒータを直径  $50\text{mm}$  のコイル状に並べ, ヒータ間の隙間を  $5\text{mm}$  と考えると, 約  $50\text{mm}$  の加熱区間が必要になることや熱量に対してコイル長さは比例することが分かった. 本装置の過熱部分は  $250\text{mm}$  の長さを設けてあり, 必要熱量が  $1.5\text{kW}$  までであれば長さは満たすと考えられる.

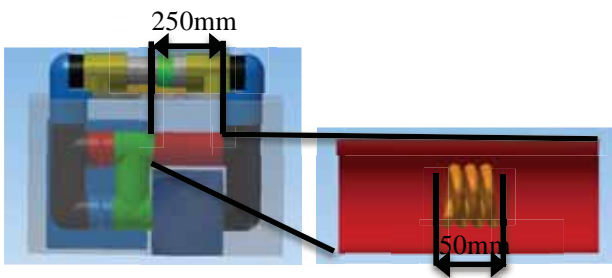


Fig.6 ヒータ配置と内部の構造

## 2.6 バケットの設計

バケット部分の諸元や外観は表 6, 図 7 にて記す.

バケットは安全面や調理後, 器になることより上記のような諸元表となった. 外径については発熱量を抑える設計より求める. 円管の断熱は真空断熱を 4 層用いる. 輻射伝熱の式より, 熱流速  $q$  は真空層を挟む板の温度を内側から,  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$  とすると,

$$\begin{aligned} q &= \sigma(T_1^4 - T_2^4) = \sigma(T_2^4 - T_3^4) \\ &= \sigma(T_3^4 - T_4^4) = \sigma(T_4^4 - T_5^4) \end{aligned} \quad (3)$$

となる.[7]  $T_1 = 200^\circ\text{C}$ , 最外の温度を ISS 内の温度とほぼ同じ  $T_5 = 20^\circ\text{C}$  として考えると, 菅の伝熱量は  $38\text{W}$  になる. これはパソコンに電源を入れただけの状態が約  $50\text{W}$  であるため, 日常で使うことができる範囲であると言える. 輻射伝熱は距離に関係しないのでそれぞれのステンレスの厚さを  $0.1\text{mm}$ , 真空層を  $1.9\text{mm}$  として設計し, 上記のような諸元表と得る. ステンレスの接合部分は耐熱かつ熱伝導率の低いベークライトを選ぶ.[8]

Table 6 バケット諸元表

内容	部分	測定物	値
寸法[mm]	バケット	全長	350
		長さ	250
		網の位置	50
	蓋	内径	100
		外径	118
		長さ	150
重量[g]	バケット	長さ	150
		網の位置	50
		内径	118
内容量[mm <sup>3</sup> ]	バケット	外径	136
		長さ	1037
		器	550
発熱量	蓋	長さ	486
		網の位置	50
		内径	118
内容量[mm <sup>3</sup> ]			$2.0 \times 10^6$
発熱量			200°Cの熱風で 38W

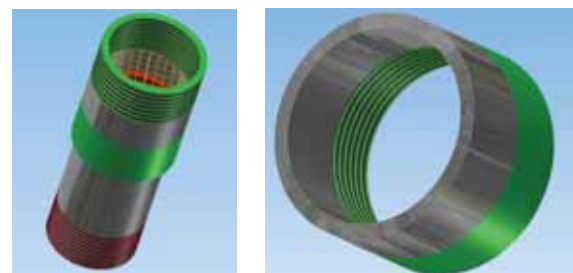


Fig.7 バケットの外観図(左図)と断熱構造(右図)

バケットは安全を考慮した際に余分な長さが存在する. 輸送時や保管時はなるべく容積を減らすため, バケットは片端の外径が片端の内径に等しいねじ形状になっているので, 網の部分まで重ねて収納することができる. また網の部分はノンスティック加工を施し, 食材が焦げ付きにくくなっている.

## 2.7 冷却

高温の空気の状態では食材の取り出しを行うことは危険であるため、調理後冷ます必要がある。サウナの例があるように、湿度 10%程度の乾燥した空気は 90~100℃ でも人体に危険はない。よって排気タンクに室内温度である 20℃ の空気を溜めて、200℃ の空気と混ぜて 90℃ にするためにその排気タンクの容積を配管内の空気の体積の 1.5 倍と見積もり、タンク内容積は  $2.9 \times 10^{-2} \text{m}^3$  となる。90℃~100℃ まで空気が冷めると図 8 の手順で中の空気を入れ替える。その際、ISS 内に匂いが残らないよう脱臭炭を使う。また、本調理器を用い際、放熱によって上昇する ISS 内の温度は最大で 0.7 度ほどであるので人体に影響を与えないと言える。

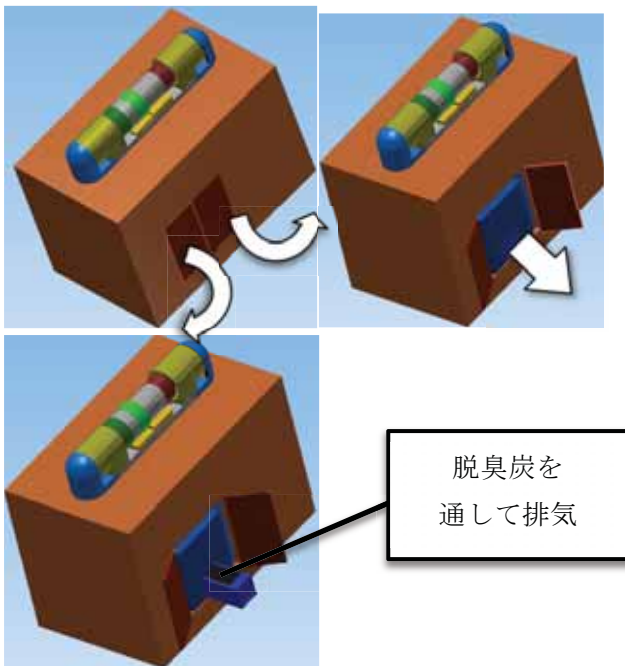


Fig.8 排気方法

## 2.8 湿度管理

揚げる、焼く、炒めるの 3 種類の調理と、蒸すという調理では湿度管理が異なる。前者では水分を飛ばす必要があるため乾いた空気を送る必要がある。そこで、配管内に乾燥剤のフィルターを設け、空気を乾燥させる。後者ではほぼ 100% の湿り飽和蒸気が必要であり、蒸気を常に発生させる加湿器をもつ。これらは調理方法によって配管をつなぎ変えることを考える。乾燥剤のフィルターとしては 200℃ の高温空気の乾燥を行うため、高温のガスを乾燥させる能力をもつモレキュラーシーブを使用する。[9] モレキュラーシーブ

は一般的に調理関係には用いられていないが人間にとって有害となる物質を発生しないため本機構において用いることができると考える。加湿器はたまった水を熱することと熱風を送ることで湿度を保つ。

乾燥剤により吸水した水は、モレキュラーシーブの特性を利用し 250 度以上の温度で空焚きすることで、吸収した分を水蒸気として放出させる。その後乾燥剤を密閉して冷ますことで、また次の調理時に再利用することができる。放出された水蒸気は排気タンクを通して外気に排出する。外気に含まれる水分は ISS 内にある Water recovery system により再利用することができる。[10] また、蒸すとき水蒸気として使用した水は、乾燥剤を通さずタンク内の空気と混ぜ、冷ましたあと外気に排出する。排気タンクの出入口を両方開けながらファンを回すことで本体内部の空気を外気と同じ温度・湿度にしつつ水を排出することができる。

## 2.9 全体図

以上より、主な寸法や諸元表、外観図などは表 7、図 9 に示す。また配管における熱損失は 437W となり、給熱として必要な熱量は 757W となる。本機構において必要だと考えられるセンサーは風速計、温度計、湿度計であり、これらはいずれも食品近くの値を測定する必要がある。そのため、センサー類は固定部内部に取り付けることが妥当と考える。また全体のシステムは図 10 にて示す。

Table 7 “Dekitate” の諸元表

内容	部分	値	
寸法[m]		0.6×0.6×0.9	
重量[kg]	配管	2.7	
	給熱部	1.3	
	タンク	2.5	
	加湿器	1.3	
	遮音シート	4.9	
	その他	3.8	
	全体	11.6	
消費電力[W]	ファン	800	
	給熱	757	
	その他	443	
		全体	2000
	調理時間[min]		3~15.5



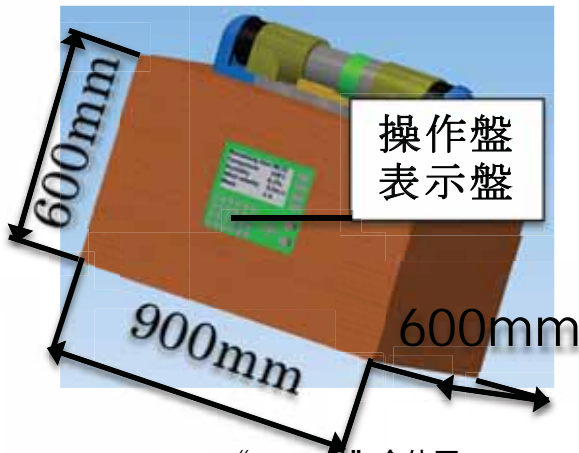


Fig.9 “Dekitate” 全体図

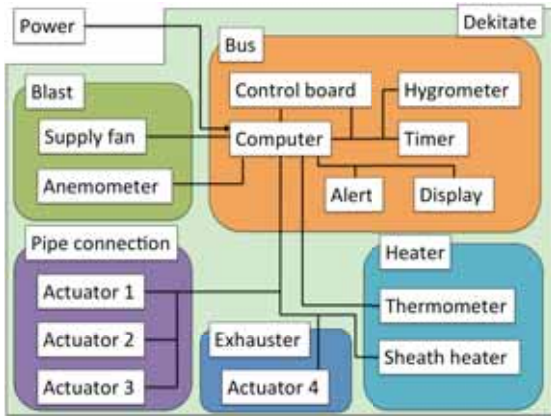


Fig.10 システムダイアグラム

## 2.10 調理の検討

以上までは“Dekitate”の寸法など見積りを行ったがいずれも流速 10m/s, 温度 200℃の空気をもとに考えており, この環境が本機構において最も調理を行いやすい環境である. 以下では流速 10m/s, 温度 200℃以下において調理を行うことが可能であるかを検証していく. 調理において重要な要素として, ①食材中心の温度が 75℃になってから 1 分間である. ②調理の種類は水分の蒸発量で変化することが分かっており, 蒸発量は, 焼く, 炒める, 揚げる順番で多くなる. この蒸発量を地上での調理による脱水とほぼ同じようにコントロールすることである. といった二つの要素が挙げられる.

以下ではまず, ①について中心温度を求める式を考える. 本機構は強制対流を用いた機構であるため, 熱伝達率を導出し, ビオ数を計算する. その後熱伝導より, 調理時間  $t$  は,

$$t = \frac{L^2}{\alpha} \times \left(-\frac{1}{A_2}\right) \times \ln\left(\frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} \times \frac{1}{A_1}\right) \quad (4)$$

と表すことができる.

Table 8 式 (4) における各文字の説明

$L$	代表長さ [m]
$\alpha$	熱拡散率 [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
$T$	物質の温度 [ $^\circ\text{C}$ ]
$T_0$	物質の初期温度 [ $^\circ\text{C}$ ]
$T_\infty$	流体の温度 [ $^\circ\text{C}$ ]
$A_1$	ビオ数や形状より決定
$A_2$	ビオ数や形状より決定
$t$	調理時間 [s]

次に, ②脱水量を求める式を考える. 蒸発量を考えた調理時間  $t$  は,

$$t = \frac{\Delta m}{\rho C_E U (q_{\text{sat}} - q_{\text{air}})} \quad (5)$$

と表すことができる. [11]

Table 9 式 (5) における各文字の説明

$\Delta m$	脱水量 [g]
$A$	食材面積 [ $\text{m}^2$ ]
$\rho$	空気密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$C_E$	バルク係数
$U$	流体の速度 [m/s]
$q_{\text{sat}}$	飽和比湿 [g/kg]
$q_{\text{air}}$	比湿 [g/kg]
$t$	調理時間 [s]

以下では以上の 2 式を用いて調理時間や湿度管理, 風速などが実現可能な範囲に収まるかどうかを計算によって確認する.

また, 蒸すという調理は, ヌセルトの水膜理論を応用して計算することができる. しかし微小重力状態では重力による水膜の流動が起きないため, 湿り飽和蒸気をファンの強制対流により水膜を流動させて, 蒸すという調理方法と同じ熱伝達率を実現できるようにした.[12]

Table 10 調理妥当性を確認する各パラメータ

調理内容	調理温度	調理時間	風速
ステーキ	180[ $^\circ\text{C}$ ]	12 分半	3[m/s]
唐揚げ	200[ $^\circ\text{C}$ ]	15 分半	10[m/s]
炒飯	200[ $^\circ\text{C}$ ]	1 分半	0.3[m/s]
シュウマイ	100[ $^\circ\text{C}$ ]	12 分	3[m/s]

## 2.11 安全対策

“Dekitate”は ISS 内で使用するため, 多くの安全要求, 特に宇宙飛行士の安全を保障する必要がある. 以下の表 11 は考えられる危険とその安全対策をまとめた使用上の注意事項である.

Table 11 使用上の注意

使用前	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気漏れがないか、常温の風を送り確認する。</li> <li>紙屑など通風口に巻き込まれるものが回りにないか確認する。</li> <li>食材の保存状態を確認する。</li> <li>バケットを固定したことを確認する。</li> </ul>
使用中	<ul style="list-style-type: none"> <li>異常な温度、風速を検出したら自動的に止まるようにする。</li> <li>稼働中はバケットを開けない</li> <li>万が一異常な音などが発見された場合すぐに稼働を止める</li> </ul>
使用后	<ul style="list-style-type: none"> <li>調理後はやけど防止のため熱風を冷却してから開ける。</li> <li>冷めきっていない可能性もあるため、排気タンクには手を近づけない</li> <li>完成後の出来たての料理は熱いので温度をよく確認する</li> <li>連続運転する場合、内部はまだ熱いのでむやみに手を入れない。</li> </ul>
故障時	<ul style="list-style-type: none"> <li>修理または廃棄する。</li> </ul>

また調理後のバケットは重曹や電解水、アルコールなどを含ませたシートやウェットティッシュで拭き掃除し、使い回す。装置内も同様に拭き掃除をする。

### 3. 結論

以上より、本解析書は、

1. 既存技術として ISS 内に存在する、温めるのみの機構である電気オープンとは異なり、その場で調理が可能である。
  2. 出来たての料理を宇宙飛行士に提供可能である。
  3. 一般的な重力を利用する調理方法とは異なり、重力を利用しない調理方法である。
  4. 手間と時間をかけずに調理が可能である。
  5. 1 台で複数の調理方法を実現可能である。
- といったことを目的として調理器を提案し、設計を行った。本解析書では実現可能性を示す段階に留まっており、今後本機構を実現するにあたって最低限以下の 3 つの必要があると考える。
1. 地上で十分な信頼性を得るまで試験を行う
  2. 表 11 にて予想できないような危険性について安全対策を行う
  3. ISS 内で実際に調理を行い、ちょうど良い熱の供給量、時間などを調整する
- 結びの言葉として、ロケットの父であるロバー

ト・ゴダード (1882 年 10 月 5 日 - 1945 年 8 月 10 日) の言葉である“何が不可能かを言うのは難しい。なぜなら昨日の夢は今日の希望であり、明日の現実なのだから”を借りる。ISS にて食事を作ることは確かに多くの困難や考慮しなければならない点が存在し、多くの人が不可能だと言うかもしれない。しかし、我々が本解析書にて提案した“Dekitate”が希望を提示し、近い未来、宇宙飛行士ができたての食事を ISS にて取ることで笑顔になることを切に願う。

### 参考文献

- [1]JAXA 宇宙映像館  
[http://iss.jaxa.jp/gallery/sp-museum/c04\\_food/#9](http://iss.jaxa.jp/gallery/sp-museum/c04_food/#9)  
(2015 年 6 月 30 日確認)
- [2]フィリップス ノンフライヤ  
<http://www.japan.philips.co.jp/kitchen/nonfryer/>  
(2015 年 6 月 30 日確認)
- [3]宇宙ステーション・きぼう 広報・情報センター  
[http://iss.jaxa.jp/iss\\_faq/life/life\\_013.html](http://iss.jaxa.jp/iss_faq/life/life_013.html)  
(2015 年 6 月 30 日確認)
- [4]リクック熱風オープン  
<http://www.irisohyama.co.jp/recook-neppu-oven/point/>  
(2015 年 6 月 30 日確認)
- [5] The best known packings of equal circles in a circle,  
<http://hydra.nat.uni-magdeburg.de/packing/cci/>, 平成 27 年 10 月 12 日確認
- [6]空気加熱用ヒータ 概要, 生産材コマース,  
[http://jp.misumi-ec.com/pdf/fa/2014/p2\\_1631.pdf](http://jp.misumi-ec.com/pdf/fa/2014/p2_1631.pdf)  
(2015 年 7 月 6 日確認)
- [7]伝熱工学, 一般社団法人 日本機械学会, 2005 年 3 月 15 日, 初版発行
- [8]KDA Corporation, PF フェノール樹脂(ベークライト)の物性の詳細情報について  
[http://www.kda1969.com/pla\\_material/pla\\_mate\\_pf2c.htm](http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pf2c.htm)(2015 年 6 月 30 日確認)
- [9]ユニオン昭和株式会社, モレキュラーシーブの基本物性  
<https://www.uskk.co.jp/molecularsieve/comparison.html>(2015 年 6 月 30 日確認)
- [10] NASA Gives Space Station Crew 'Go' to Drink Recycled Water  
[http://www.nasa.gov/home/hqnews/2009/may/HQ\\_09-096\\_Recycled\\_Water\\_Go.html](http://www.nasa.gov/home/hqnews/2009/may/HQ_09-096_Recycled_Water_Go.html)(2015 年 7 月 8 日確認)
- [11]加藤拓磨(中央大学理工学部), 中根和郎(独立行政法人防災科学技術研究所), 山田正(中央大学理工学部), 小規模水面における水の蒸発メカニズムに関する基礎的実験, 水高額論文集, 第 53 巻, 2009 年 2 月
- [12] 藤井哲, 李鍾鵬, & 新里寛英. (1992). 純蒸気の強制対流凝縮における液膜の代表物性値. 九州大学機能物質科学研究所報告, 5(2), 209-213.