課 題 情 報 シ ー ト

テ ー マ 名 ：	３Ｄ食品加工機の開発				
担当指導員名：	松田　孝、佐藤　一晃、江守　真			実施年度：	26 年度
施　設　名 ：	北海道職業能力開発大学校				
課　程　名 ：	応用課程	訓練科名：	生産システム技術系		
課題の区分：	開発課題	学生数：	13　人	時間：	54 単位（972h）

課 題 制 作 ・開 発 の ポ イ ン ト

【開発（制作）のポイント】

成形する材料によって流動性と固まる温度が異なりますので、材料ごとに実験が必要です。
食品機械として衛生面などの考慮した設計が必要です。

【訓練（指導）のポイント】

学生には実験データを整理し、分析する重要性を指導しました。
また、ゴールが遠いとモチベーションが低下するため、開発装置の機能ごとに役割分担し、小目標を設定しながら、完成まで導きました。

課 題 に 関 す る 問 い 合 わ せ 先

施 設 名　：　北海道職業能力開発大学校
住　　所　：　〒047-0292　北海道小樽市銭函 3 丁目 190 番地
電話番号　：　0134-62-3553（代表）
施設 Web アドレス　：　http://www3.jeed.or.jp/hokkaido/college

課 題 制 作 ・開 発 の「予 稿 」および「テーマ設 定 シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

３Ｄ食品加工機の開発

Ｅチーム

１　はじめに

3D プリンタは CAD データをもとに，断面形状を造形することによって立体を造形する機器である．代表的な用途として生産分野での試作品製作が挙げられる．現在，企業や個人向けに様々な 3D プリンタが開発され，その応用分野が医療分野，食品分野へと広がっている．

今回，E チームでは 3D プリンタの技術を応用し，世界中で開発が進められている食品加工分野への展開を考え，3D 食品加工機の開発をテーマとした．食材はチョコレートやかまぼこなどのように一定の粘性を持ち，固めることができるものを使用し，2D から 3D 形状の様々な造形を行い，食べるだけでなく，目で楽しめる 3D 食品加工機の開発を目指す．

２　特徴と基本仕様

本製品は，食材の造形を行う本体と操作を行う PC で構成される．コンセプトは他の場所に持ち運んで手軽にデモンストレーションができる 3D 食品加工機であり，その特徴として，外部への持ち運びを想定した大きさと重量，中の様子が見やすい透明な筐体，造形動作を近くから見ることができる内部カメラなどがある．また，ヒータ機能と冷却機能により，効率良くチョコレートの造形を行うことができる他，小樽の名産品のかまぼこも造形でき，小樽の PR に利用することができると考えている．3D 食品加工機の全体図を図１に示す．

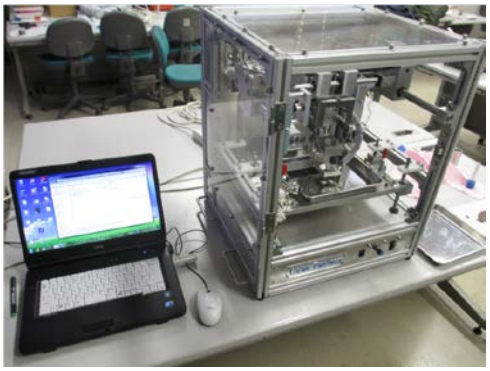

図１　全体図

PC における管理用アプリは誰でもわかりやすいボタン配置に仕上げており，動作速度や温度等のパラメータ設定，造形の元となる 3DCG データ(以下 CG データとする)の作成を行うことができ，3D ビューア機能により，作成した CG データを確認することもできる．造形までの流れを図２に示すように CG データを管理用アプリによりスライスして，1 層ごとのデータに変換して動作用のデータを作成する．作成されたデータや軸・ノズルの動作速度，温度の設定値などを本体のマイコンへと送信して，造形を行う．

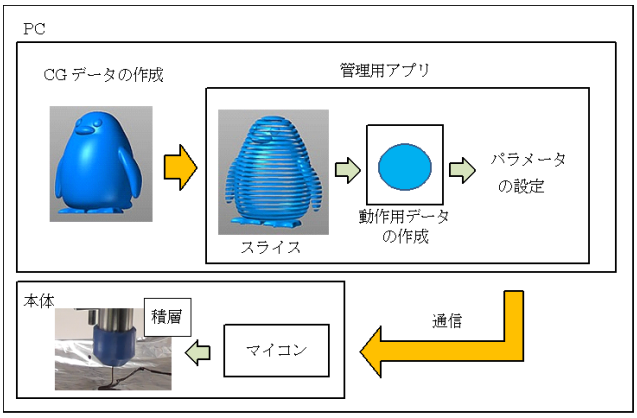

図２　造形までの流れ

次に仕様を表１に示す．

表１　仕様

項目	内容
製品名	Cube factory
造形可能範囲	100 × 100 × 50 mm
最小ピッチ	0.2mm
最大容量	50 ml
電源	100V
ノズル径	1.0mm（チョコレート） 2.0mm（かまぼこ）
マテリアル（材料）	チョコレート，かまぼこ
外形寸法	500 × 500 × 600 mm
本体重量	約 40 kg
対応データ	STL形式の3次元CGデータ
管理機能	マニュアル操作，パラメータの設定，CGデータの積層等

3　システムの全体構成

図3に3D食品加工機の構成図を示す．造形空間には食材とノズル，ノズル・押し出し駆動部，X軸，Y軸駆動部，Z軸駆動部，保温ヒータと温度センサ，ステージ台，カメラがあり，駆動部とヒータは制御用マイコンによって制御されている．また，造形空間の後ろには冷却機構があり，保冷剤を置く為の冷却空間と冷気を送風するファンが配置されている．制御用マイコン（以下マイコンとする）はPCと動作用のデータや温度等のデータ通信を行っており，PCの管理用アプリによって各部の動作を行うことができる．

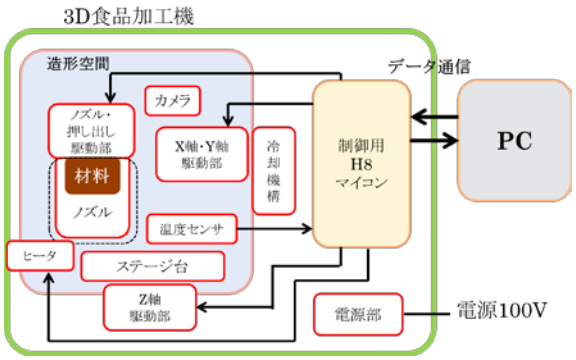

図3　構成図

4　各システムの解説

4．1　X軸・Y軸 駆動部

X軸駆動部・Y軸駆動部を図4に示す．本製品のX軸・Y軸は，ステッピングモータで駆動しており，タイミングベルトとプーリーによって駆動を伝達する仕組みとなっている．タイミングベルトは，安価，軽量，潤滑が不要との理由から使用した．

また，2本のガイドシャフトにリニアブッシュを組み合わせて使用し，低摩擦かつ高精度に直線運動ができる構造とした．

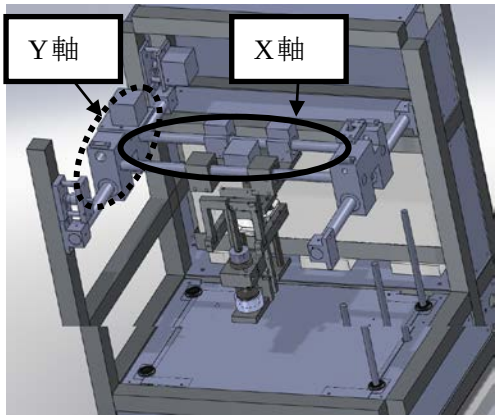

図4　X軸駆動部・Y軸駆動部図

4．2　Z軸 駆動部・ステージ台

Z軸 駆動部を図5，ステージ台を図6に示す．X，Y軸同様，Z軸もステッピングモータによって駆動しており，送りねじ機構を用いて上下方向の直線運動ができる構造となっている．また，水平を保ったまま，上下運動できるように4本のガイドシャフトを使用し，駆動する際の揺れを最小限に抑えることができた．

テーブルは，衛生面とメンテナンス面の両方を考えてステンレストレイを使用し，ステージ台にはトグルクランプを用いて取り付け・取り外しができるようにした．

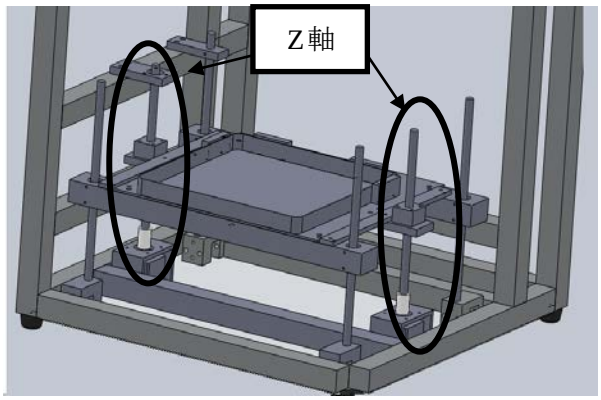

図5　Z軸駆動部

図6　ステージ台

４．３　ノズル・押し出し駆動部

ノズル・押し出し駆動部は，送りねじを利用してピストンを動作させ，シリンジ内の食材を押し出すことで食品の造形を行う．送りねじの駆動にはステッピングモータを用い，2本のガイドシャフトで軸のズレをなくし，送りねじによって上下する．全体の大きさを小さくしつつ，ピストンのストロークをかせぐ為，送りねじとピストンを並べて配置した．（図7）

ねじの駆動域はナットの厚みを計算して80mm動作し，シリンジの長さに合わせられている．シリンジの容量は50mlとなっており，ピストンの動作範囲は，50ml分の食材を押し出す範囲で動作するようにリミットスイッチで合わせた．

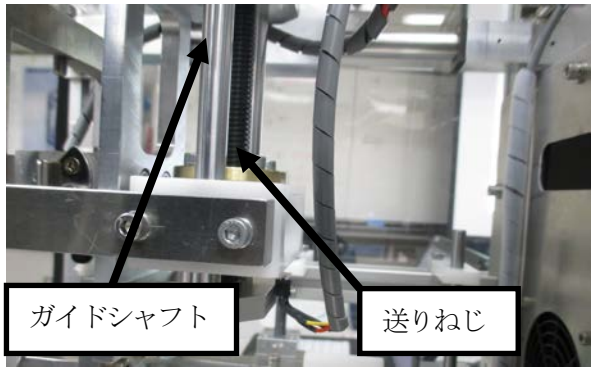

図7　押し出し駆動部

食材を造形する為のノズルはシリンジと先端部分の二つに分割でき，ノズルは使う食材によって取り替える．（図8）先端部分はステンレス製とMCナイロン製を用意してあり，熱を加える必要性のあるチョコレートはステンレス製を使用し，熱を加える必要性のないかまぼこについてはMCナイロン製を使用する．（図8）ノズルについては食品に触れる箇所で使用できる素材で作成した．

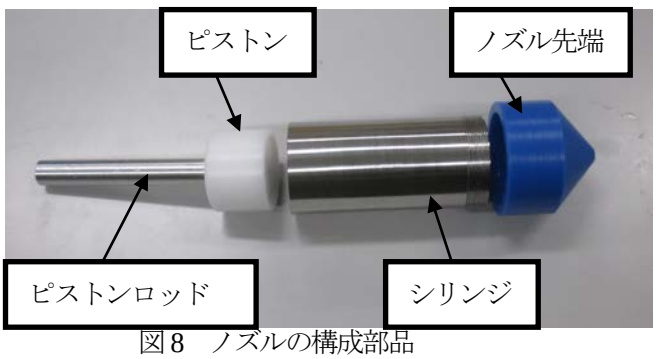

図8　ノズルの構成部品

ノズル径については食材ごとに押し出し実験を行い，最適な径を決定し，チョコレート用ではφ1mm，かまぼこ用はφ2mmとした．

食材をシリンジ内に補充したり，別の食材を詰め替えたりする際にノズルを取り外ししやすいような機構を採用した．（図9）また，ノズルの先端位置は自動的に合うようにすり鉢状の受皿を取り付け，ノズル先端を置くだけで位置決めできるようにした．（図10）

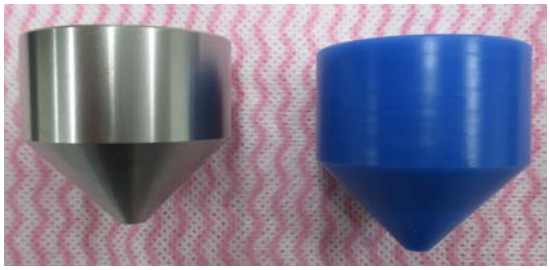

図9　先端部分（左ステンレス右MCナイロン）

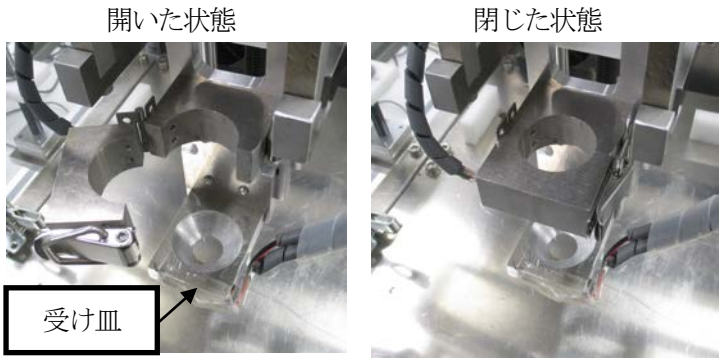

図10　ノズル取付け部

ノズル・押し出し駆動部は，X軸に取り付けられるため，軽量化であることが求められ，2kg以内に抑えることを目標として作成し，結果として重量は1．8kgに抑えることができた．

図11に駆動部とノズル部固定部の外観を示す．

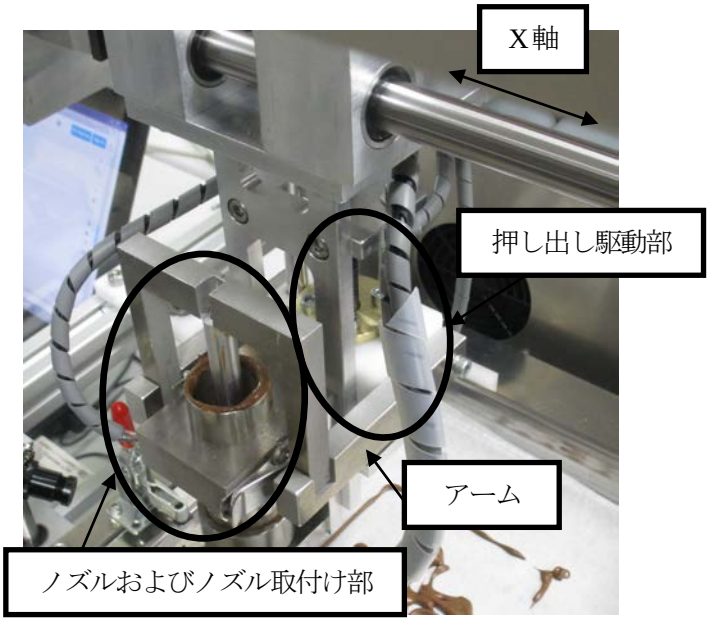

図11　ノズルの外観

４．４　保温ヒータ・温度センサ

保温ヒータと温度センサを図 12 に示す．保温ヒータはチョコレートなどの食材で造形を行う場合に，ノズル内部で凝固しないようにノズル内の食材を一定温度に保つ為の機能である．ノズル取付け部に埋め込まれており，シリンジ部分を温める為の上部ヒータと先端部分を温める為の下部ヒータの 2 つで構成され，熱伝導によってノズル内部の食材を保温する．

温度センサはノズルの先端の温度と造形空間内部の温度を測定する為に使用しており，今回，温度によって抵抗値が変化するサーミスタを使用して温度を測定している．電子回路によって抵抗値を電圧に変換し，マイコンによって AD 変換を行い，温度を取得している．図 12 に保温ヒータと温度センサを示す．

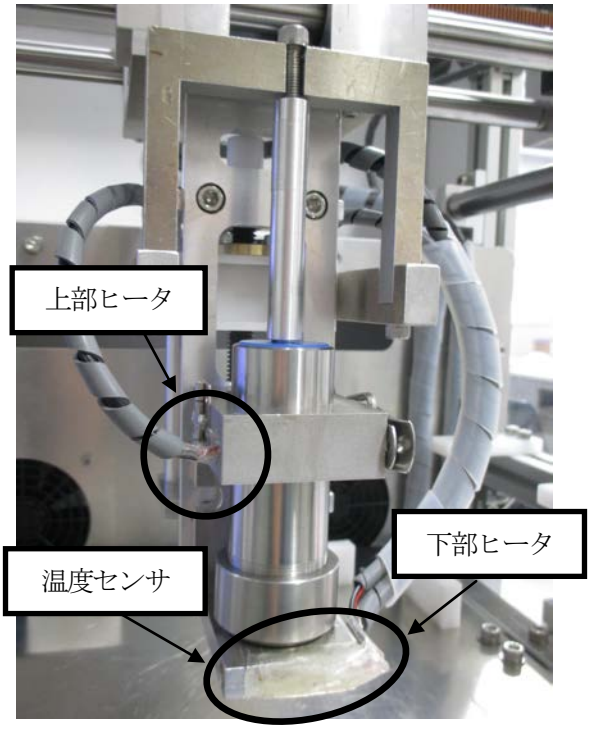

図 12　保温ヒータ・温度センサ

保温ヒータは前面パネルのスイッチとマイコンの信号の両方が ON の状態のときのみ動作する仕組みになっており，ヒータの ON/OFF を制御することで先端の温度を制御できるようになっている．また，パネルのスイッチを OFF にすると常時ヒータは OFF になる．ヒータの制御はマイコンによって行い，温度センサによって取得した温度により，管理用アプリで指定された温度を維持する為にヒータの ON/OFF をマイコンが自動で制御する．

４．５　冷却機構

チョコレートなどの食材を造形させるにはある程度，凝固する必要がある．そこで加工機の後方に保冷剤を入れ送風ファンを用いて造形空間に冷気を送り込むことで空間全体を冷やして造形するようにした．また，冷気が循環できるように通し穴を開けて，造形空間に冷気が行きわたるように循環させている．

実験では，発泡スチロールを使用して空間を覆うと効果があった為，中の冷気が外に逃げないように加工機の内側にも発泡スチロールを貼り付けることにより，断熱効果を持たせた．

保冷剤については，保冷剤から出る水滴が漏れないように専用のトレイに入れ，出し入れは加工機の後方部分の扉から行えるようにした（図 13）．

図 13　設置した保冷剤

冷却ファンは CMOS タイマである LMC555 を使用し，PWM 制御によりファンの回転数を制御する．LMC555 は無安定動作モードにする．これは，LMC555 自身が，マルチバイブレータとしてフリーラン状態となり，デューティー比をスイッチ付きボリュームの抵抗値により設定することができるからである．これにより，冷却ファンはスイッチ付きボリュームでのファンの起動，ファンの風量調整を行うことができるようになった．また，マイコンで制御を行っていないので，電源が入った時点で冷却ファンを動作させることができ，造形を開始する前に造形空間を冷やしておくことが可能である．冷却ファンを図 14 に示す．

図 14　冷却ファン

４．６　筐体

筐体には組立や，微調整のしやすさを考慮し，かかる荷重に対応する強度を持つアルミフレームを選定した.
筐体内部は3つの空間に分かれ食材を造形する造形空間，冷却の保冷剤が入る空間，基板等が入る空間で構成されている.

造形空間については，デモンストレーションなどで造形経過などが見られるように外側に透明なアクリルを使用し，その他の空間は外から見えないようにした.

保冷剤の入る空間と基いた等の入る部分には，アルミ板を使用することで外からは見えないようになっている．正面扉は，メンテナンスやノズルの取り外しをしやすいよう取り外しが簡単にできるものを採用した.

また，正面部分には製品ロゴを設置し，使用頻度の高いスイッチ類を配置して，操作しやすくした.

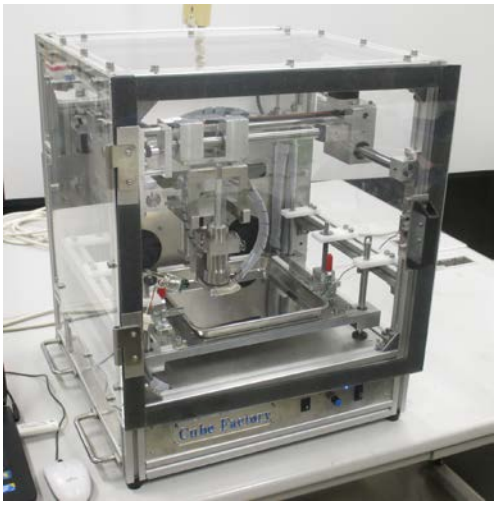

図 15　外観図

４．７　カメラ

製作した加工機内部には，カメラを設置し，イベント会場などでプロジェクターへ投影し，より多くの人が造形の様子を見学できるようにしている.

図 16　機内カメラ

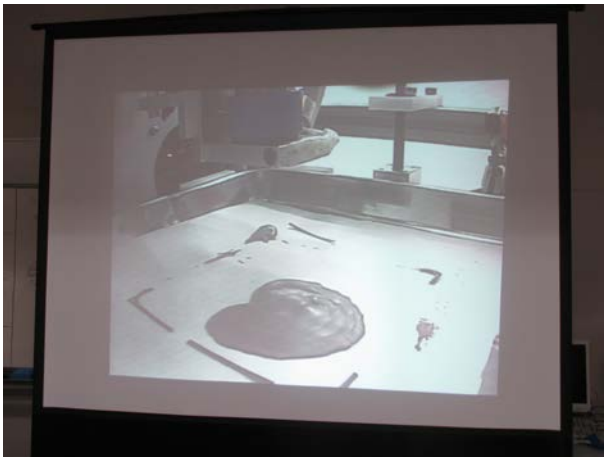

図 17　カメラ投影画面

４．８　電源

電源は外部からの AC100V を DC12V に変換しており，マイコン等の DC5V 電源として DCDC コンバータによって DC12V を DC5V に変換している.
また，電源には冷却用のファンが設置されており，電源の冷却を行っている.

４．９　マイコン部アプリ

マイコン部アプリでは，PCで動作している管理用アプリから通信により3D造形データを1層毎に分割した2Dの造形データとして受け取ることで，管理用アプリの指示通りにXYZノズルを動かすことができる．

・メイン部

メイン部では，起動時から管理用アプリからの接続待機状態であり，接続要求を管理用アプリから受け取ると命令待機状態に移る．この状態で命令を受け取ると各処理部へ移る．切断要求を受け取ると再び接続待機状態に戻る．

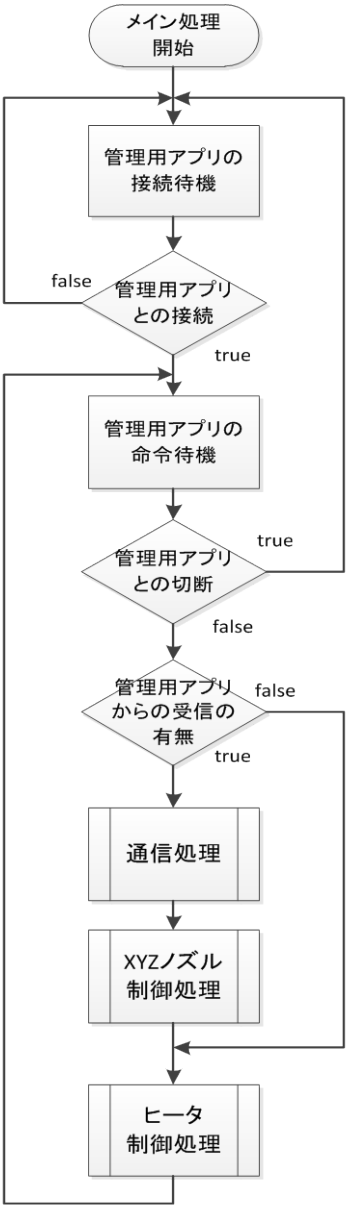

図18　メイン部モジュール

・通信部

通信部では管理用アプリケーションから3D総計データを1層ごとに受け取るが，マイコンでは受け取れる容量に限界があるので1データ250byteに分割して受け取る．

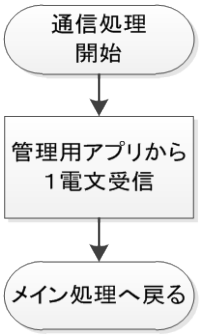

図19　通信部モジュール

・XYZノズル制御部

XYZノズル制御部では通信部からの命令を受け，その命令に異常がなければXYZ軸とノズルを制御し動作終了したことを管理用アプリへ返信する．管理用アプリからの命令に異常があれば管理用アプリへ異常が発生したことを送信する．

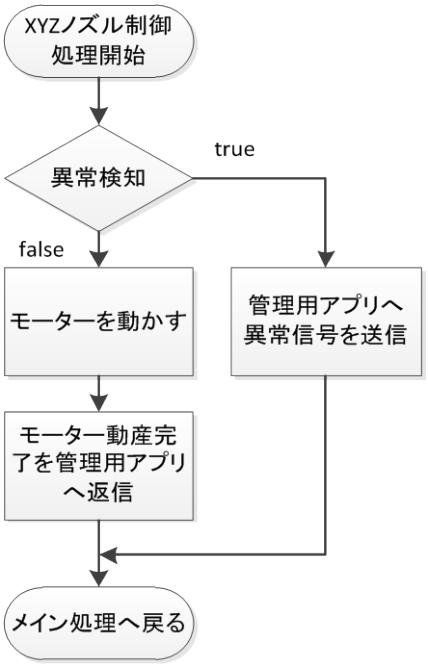

図20　XYZノズル制御部モジュール

・ヒータ制御部

ヒータ制御部ではサーミスタからの電圧を受け取り，AD 変換することで温度を取得し，ノズル内の食材が適温で保たれるようにヒータの ON と OFF を切り替えている．

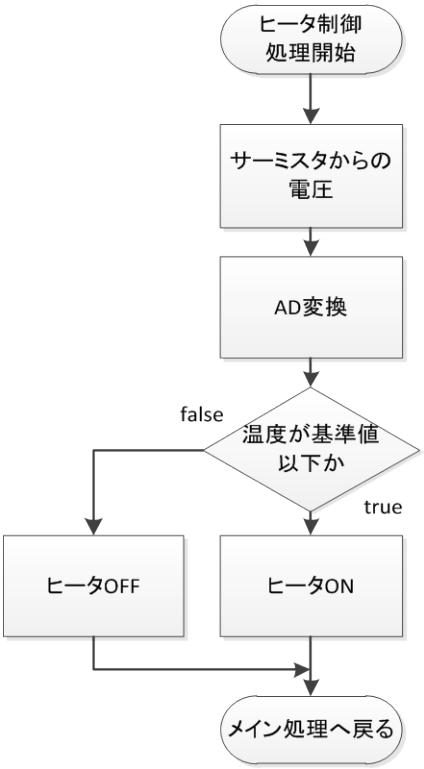

図 21　ヒータ制御部モジュール

４．１０　管理用アプリ

管理用アプリは RS-232C によるシリアル通信によって，PC 上からマイコンと通信を行い，3D プリンタの制御を行う．主な機能は STL ファイルのスライス，STL ファイルの 3D ビュー，XYZ 軸・ノズルの位置調整，各種設定の変更である．

・STL ファイルのスライス

3DCAD 等で作成された STL ファイルには，3D データが厚みのない三角形(ポリゴン)を組み合わせたものとして保存される．本機能では STL ファイルのスライスを行い，ノズルが移動する為のデータを作成する．

処理の流れは次のようになる．

① スライスしたい X-Y 平面上を通るポリゴンを検出し，通過箇所を記録していくことで輪郭線を検出する．
② 輪郭線とその内部を塗りつぶす．
塗りつぶされた箇所に食材を置くこととなる．
③ 塗りつぶし領域内を一筆書きでなぞるようなノズル移動データを作成する．
④ ①～③を造形数分繰り返す．

また，ノズル移動データはマイコンのメモリ容量上，一度に保存できない為，分割して送信される．

・STL ファイルの 3D ビュー

ノズル移動データ作成時に読み込んだ STL ファイルを 3DCG として表示する．描画にはグラフィック処理用ライブラリである OpenGL®を利用する．

表示された CG はマウス操作によって移動・回転が可能で，造形物の全体像を確認できる．

・XYZ 軸・ノズルの位置調整

マニュアル操作で XYZ 軸・ノズルの位置を移動させる．造形前の調整やノズル及びトレイの着脱時に使用する． 図 22 の右側が XYZ 軸・ノズルの位置調整画面である．

・各種設定の変更

設定が変更できる項目は XY 軸の移動速度，ノズルの押し出し速度，動作の解像度(ピッチ)，ヒータの目標温度の 4 項目であり，造形に次のような影響を及ぼす．

① XY 軸の移動速度…速くすると造形時間が短縮されるが，ノズル径によっては食材の押し出しが追従できず，線が途切れてしまう場合がある．
② ノズルの押し出し速度…速くすると安定して食材が押し出せるようになるが，線が太くなり高解像度での造形が難しくなる．
③ 解像度…食材が置かれる幅が変更される為，高解像度では食材が重なりやすくなり，低解像度では食材の間に隙間が空きやすくなる．
④ ヒータの目標温度…チョコレートの粘性に影響を及ぼす．

管理用アプリには，実験で得たチョコレート用・かまぼこ用のパラメータが用意されているが，気温などによる材質の変化に対応する為，手動で設定を行うことも可能である． 図 23 の左側が設定変更画面である．

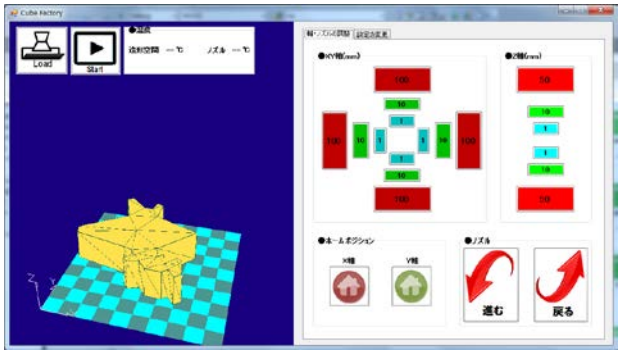

図 22 XYZ 軸・ノズルの位置調整画面

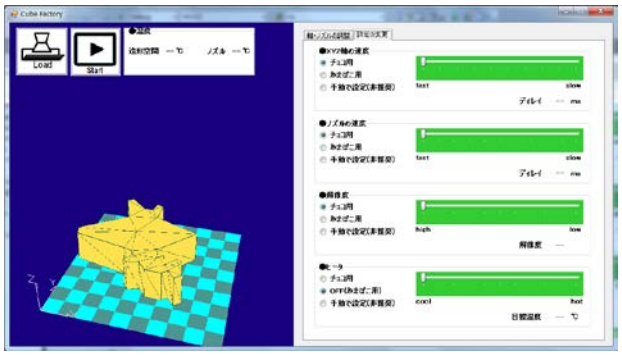

図 23 設定変更画面

5 動作テスト

5．1 食材と造形条件

それぞれの食材で動作テストを行い，造形する為に最も適したパラメータ，食材の特徴について表 2, 表 3 に示す.

食材は溶かしやすく，一定の粘性があるということからチョコレートを使用する．また，小樽市の名産品ということからかまぼこも使用することとした.

表 2 食材と造形方法

食材	チョコレート	かまぼこ
原材料	市販のチョコレート	魚の切り身
前準備	湯煎にかけて溶かす	すり身にする
積層する温度	35℃前後	常温
凝固方法	冷却装置で冷却	蒸し器に移し蒸す

表 3 造形パラメータ

食材の種類	チョコレート	かまぼこ
食材の形状	魚	魚
ノズルの先端と ステージの距離	2mm	2mm
X軸，Y軸の積層ピッチ	2mm	2mm
Z軸の1層ごとの移動距離	3mm	3mm
ファンの使用有無	有	無
ヒータの使用有無， 設定温度	有 30℃	無
1層の時間	50秒	50秒

図 24 食材

実験では，チョコレートもかまぼこもピストンにより，ノズル先端から押し出すことができた．図 25 にチョコレートがノズルより，押し出しされている様子を示す.

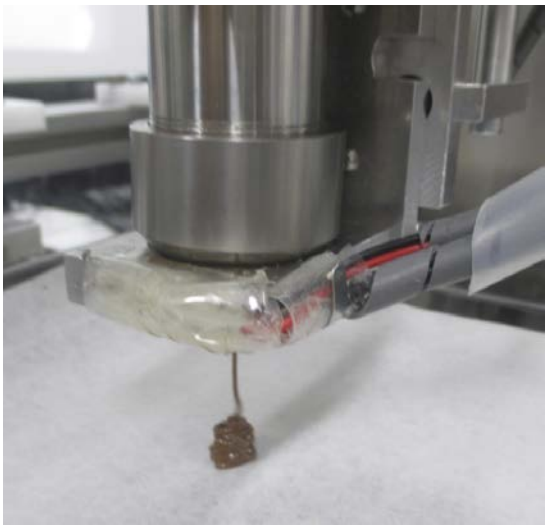

図 25 ノズルから押し出されている様子（チョコレート）

5．2 チョコレートによる造形

図 26 はチョコレートで魚を造形している様子である．造形は，外枠を造形することにより，ノズルの出力を安定させてから行う.

スライスデータに基づき 1 層目が出力されると，Z 軸を最適な位置に下げ，次の層の動作が開始される．この動作を繰り返し造形した．造形中は冷却によって凝固を促進させている．図 26 の魚の造形では，10 分以内で造形が出来た．図 27 は凝固し，完成したチョコレートの造形作品である.

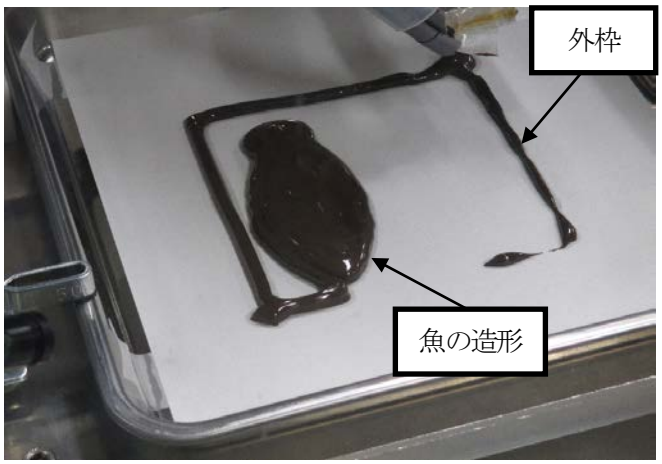

図 26　チョコレートでの造形中の様子

図 27　完成したチョコレートの造形作品

５．３　かまぼこによる造形

図 28 は，かまぼこで魚の造形を行っている様子である．

魚のすり身を使ったかまぼこの造形はチョコレートより粘性が高い為，冷却装置を使用する必要がなく，6 層の造形を行うことに成功した．また，図 29 は造形したすり身を蒸し器へ移し，蒸しあがったものである．

図 28　かまぼこの造形の様子

図 29　蒸した後の造形作品（かまぼこ）

５．５　動作テストの問題点と対処法

チョコレートの実験では市販品を使用したが，チョコレートに含まれる原食材の違いにより，粘性に違いが生じ，造形が困難な物もあった．

また，動作テストとして，チョコレートもかまぼこも同様にノズルの先端とステージ台の距離が離れた状態で造形を行うとノズルからの出力と CG データに誤差が生じてしまい，思うような形を描けなかった．その為，ノズルの先端とステージ台の距離を 4mm 程度まで近づけることで誤差を最小限になくすことができた．

また，XY 軸の速度とノズルの押し出し速度を適切に同期させる為，一方の速度を固定し，もう一方の速度を変更することで，安定した造形動作を行えた．

チョコレートの凝固の問題は，ヒータでノズルを熱することと冷風で造形空間を冷やすことで対処した．ヒータはチョコレートをシリンジ内で流動しやすい温度に保温し，冷却装置による冷風で造形空間を 10℃前後まで冷やすことにより，チョコレートの凝固を促進している．

その他の問題にノズルにかまぼこの原料であるすり身を補充する際，粘性が高い為に，空気の隙間がノズル内にでき，造形途中に空気が抜け，その都度，ノズルからの出力が途切れてしまった．その為，すり身を隙間なく奥まで押し込んで充填することとした．チョコレートについては粘性が低い為，かまぼこのようにはならなかった．このように，実験を進めていく中で様々な問題が生じ，その都度対処しながら実験を繰り返し，完成度を高めた．

6 造形作品集

図 30 造形作品①（チョコレート）

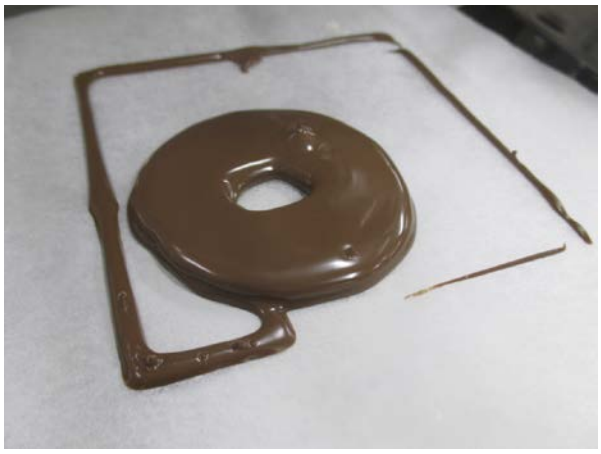

図 31 造形作品②（チョコレート）

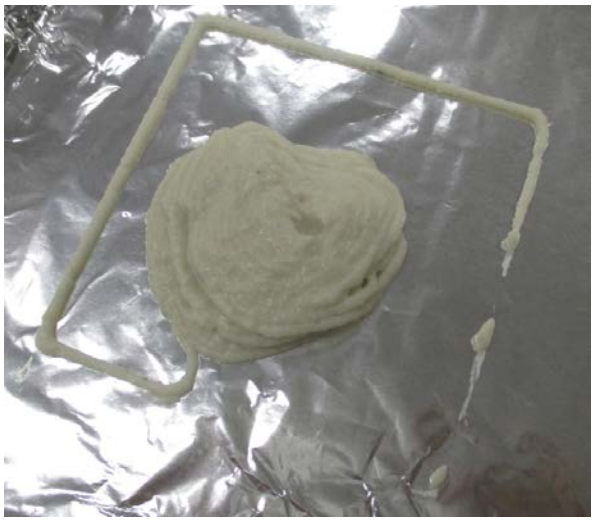

図 32 造形作品③（かまぼこ）

7 まとめ

3D 食品加工機本体については，6 月の時点で企画していた機能のすべてを実装することができた．造形動作については専用の管理用アプリを使用して，予定していたチョコレート及びかまぼこの両方で造形することができた．しかし，本体及び管理用のアプリはともに動作テスト，デバックが不十分であり，現在の動作は不安定，不透明な部分が多く残った状態である．また，本製品のコンセプトであるデモンストレーションを行う為には，まだ多くの課題があるといえる．本体については，機械部分の作製にあたって想定していた重量の 2 倍近い値になってしまったこと，また，ノズルの取付け部について取り外しが容易とは言えないこと，ねじ締結が多くメンテナンス性が乏しいことが課題として挙げられる．また，保冷剤とファンを使用した現在の冷却機構は冷却の維持できる時間が短いことや外気温によっては十分に冷却ができていない可能性があるなどの問題がある．管理用アプリでは対応できる CG のデータが限定されていることやマニュアルの作成が行えていないなどの課題がある．

今回の開発では，製作の段階で発生した問題や実験等で確認された問題に対して十分な対処ができずに期限を迎える結果となった．理由として，スケジュール管理や問題に対しての十分な考察ができなかったこと，チーム内での協力が不十分であったことなどが挙げられる．今後の様々な物事に対して今回の反省を活かしていこうと考えている．

残りの時間でヒータでの適切な温度調節，冷却装置での適切な造形物の冷却などの改善を行いたいと考えている．

謝辞

今回の開発にあたり，指導してくださった担当の松田先生，佐藤先生，江守先生に多大なご協力をいただきました．この場をお借りしてお礼申し上げます．

課題実習「テーマ設定シート」

作成日：　9月　30日

科名：生産システム技術系（開発課題実習）

教科の科目	実習テーマ名
精密機器設計製作課題実習（生産機械システム技術科） 電子装置設計製作課題実習（生産電子システム技術科） 生産ネットワークシステム応用課題実習（生産情報システム技術科）　（開発課題実習）	３Ｄ食品加工機の開発

担当教員	担当学生	
生産機械システム技術科　江守　真		
生産電子システム技術科　佐藤　一晃		
○生産情報システム技術科　松田　孝		
	◎リーダー　○サブリーダー	

課題実習の技能･技術習得目標

３Ｄ食品加工機の開発を通して、「ものづくり」全工程を行うことにより、複合した技能・技術及びその活用能力（応用力、創造的能力、問題解決能力、管理的能力等）を習得することを目的としている。　具体的には、３次元データを低次元のデータに分解し、再度３次元化する手法の検討から確立を行い、切削や放電加工を複合的に活用した精密な製品製造技術、各種電子回路設計製作技術、マイコン制御技術、進捗管理や課題管理を中心としたプロジェクトマネージメント技術の習得を目標にする。

実習テーマの設定背景･取組目標

実習テーマの設定背景

３Dプリンタは、ＣADデータより立体を造形する機器で、近年は、製造業における試作品の製作の他に、医療における手術前の検討など広く応用され、今後も適用範囲が広がることが予想される。　北海道は食材が豊富ではあるが、食材を利用した加工食品の分野では今後の発展余地を多く残していると言われている。　本テーマでは、「見た目」を切り口とした食品加工に注目し、イベントなどで立体的な食品を造形・展示することで、３Dプリンタの食品分野への応用の一例となる様にする。

実習テーマの特徴･概要

本課題では，３D ＣADデータより、立体的な食品を自動で作成し、過程を見えるようにする。　食材毎の特性を調査し、使用する食材に合った温度管理を含めた造形方法を検討、実現する。　食材は、加工のしやすさより「チョコレート」、小樽の特産品より「魚のすり身」をターゲットの食材とし、特性の異なる食材を１台の「３D食品加工機」で造形する。　「３D食品加工機」はイベントなどでの展示を行うことを可能とする為、車などで搬送可能なサイズに分解し、展示場所で簡単に組み立て可能とする。　また、成果物は食品であることより、衛生的なしくみを実現する。

３DデータをＰＣにて２Dデータに変換し、制御用マイコンに送信し、制御用マイコンは、食材を適度にノズルより送り出しながら１層のペインティングを行う。　この層を積み重ねることで食材を立体的に造形する。

No	取組目標
①	課題を解決するために必要な情報を収集し、分析・評価して合理的な手順や方法を提案します。
②	工程・日程・人材・他部門との関係・予算・リスク等の観点から計画を立て、進捗を調整します。
③	グループメンバーの意見に耳を傾け、課題解決に向けた目的や目標及び手順や方法について共通の認識持ちます。
④	各自が与えられた役割を果たし、グループメンバーをフォローし合って、グループのモチベーションを維持します。
⑤	装置、回路、システムを設計する際、独自性を持って創意工夫をします。
⑥	課題各部を設計する際には品質、コスト及び納期をバランス良く調和させます。
⑦	ＣADやＣＡＥを援用した機構設計、切削・ワイヤ放電加工・手仕上げの各技術・技能を複合的に活用し、機構部を完成させます。
⑧	図や表を効率的に利用した分かり易い報告書や発表会予稿原稿を作成し、発表会では伝えたい内容を分かりやすく説明します。
⑨	５Ｓ（整理、整頓、清掃、清潔、躾）の実現に努め、安全衛生活動を行います。