

酵素利用技術とデジタル化技術の長崎伝統菓子への適用と新製品開発

電子情報科 専門研究員 小笠原 耕太郎
食品・環境科 主任研究員 玉屋 圭

長崎県のお土産品として、県内全域で多数の菓子製造業者により生菓子が製造・販売されているが、その売り上げは年々減少傾向にあり、商品の付加価値を高めるための特徴的な商品開発が地域産業から求められている。そのためには、本県の豊富な地域資源を活用した素材開発、新規商品及び既存商品を改良した商品を成形する菓子型開発、さらに、味・食感測定技術による商品評価が必要となる。そこで、生菓子業界の伝統的な製造方法に、酵素利用技術とデジタル製造技術を導入し、新たな素材と菓子型の開発、商品評価を行うことができる環境を構築することにより、新規商品開発を推進し菓子業界の振興を図ることを目的とする。

本研究開発の最終年度である平成28年度は、県産米の「にこまる」を原料としたペースト製造を行った。また、デジタル製造技術を活用した菓子型開発システムの確立を図るため、新しい商品を型化する技術を構築し、デジタル製造技術を新規菓子型製作に適用した際の性能試験及び実証試験を行った。

1. 緒言

長崎の地は、江戸時代、シュガーロードの出発地であり、砂糖を利用したお菓子が作られ、現在も、長崎県の主要なお土産品となっている。生菓子の製造業者（長崎県菓子工業組合 組合員数268者）は、県内全域で製造販売を行っている。生菓子の売り上げは平成22年で164億円であるが減少傾向にあり、新しい消費者ニーズに対応した新しい商品開発が望まれている。新商品の開発は、生菓子職人と菓子木型職人のコラボレーションにより実現する。木型職人は高齢化と廃業、特定地域への集約化が進んでおり、新商品に展開する型製作が困難な状況となっている。また、歴史的背景を持つ生菓子店は多数の歴史的木型を保有するが、長年の使用や経年変化による摩耗やひび割れが進み早急な対応が必要となっている。しかし、このような状況では修復は困難で、またそれらを再利用した新しい商品開発も行えていない。一方、本県の地域資源（ビワ、柑橘などの果実、人参、大豆などの野菜など）を用いた菓子製品の開発に対するニーズは絶えず高い。しかしながら、これら県産農産物を加工した素材（ペースト、粉末など）が開発されていないため、県産の地域資源を利用した菓子の開発が進んでいない。

そこで、本研究では、生菓子業界の伝統的な製造方法に、酵素利用技術とデジタル製造技術を導入し、新たな素材と菓子型の開発、商品評価が行える環境を構築することにより、新規商品開発を推進し菓子業界の振興を図ることとした。

酵素利用技術を用いた新たな菓子素材の開発におい

ては、県産の果物・野菜に適用し、原料の味、風味、色を生かした、新たな菓子づくりに利用できる食品素材（ペースト）の開発を行う。また、デジタル製造技術を用いた菓子製造技術の開発では、三次元スキャン並びに三次元プリンタ技術を用いて、既存型から樹脂型を試作・製造し、保存（修復保存）、再利用を試み、さらに、菓子職人が手作業で作成した商品を型化する技術を構築し、新規型による商品開発を行う。

本研究開発の最終年度となる平成28年度は、県産米の「にこまる」を原料としたペースト製造と、新しい商品を型化する技術を構築し、デジタル製造技術を新しい新規菓子型製作に適用した際の性能試験及び評価を行い、デジタル製造技術を活用した新しい菓子型の開発システムの確立を図った。

2. 実験方法

2.1 県産米を利用したペースト製造技術の確立

本研究では、県産の地域資源に酵素処理技術を利用することによりペーストやエキスを製造し、菓子素材としての可能性を検討している。今回は、県産米である「にこまる」を原料としたペースト製造技術を検討した。

2.1.1 セルラーゼを用いた米可溶化技術の検討

米ペースト製造を可能とするために、まず市販のセルラーゼを用いて、炊飯米の可溶化を検討した。セルラーゼは、ヤクルト薬品工業製の「セルラーゼ Y-NC」を用いた。本研究の試料とした「にこまる」には、市

販されている県産米を使用した。米をあらかじめ洗浄し、水切りした後に、米に対して4倍量の水を添加し、30分間浸漬した後に、IHジャー炊飯器（SR-HC102、パナソニック製）により炊飯した。冷却した炊飯米10グラムに対して、セルラーゼ0.1、0.3、0.5、1.0%分を添加し、50℃で3時間反応させた。その後、温度100℃に10分間保持し、酵素反応を停止させた。本反応液を流水中で冷却した後に、遠心処理して得られた上清を採取し、波長410 nmでの吸光度及びエキスを測定し、炊飯米の溶解度を測定した。

2.1.2 糖化酵素を用いた米ペースト製造法の検討

米ペースト製造を目的として、セルラーゼにより可溶化した炊飯米に対して、市販のアミラーゼ関連酵素を用いてペースト製造を行った。酵素剤は、ヤクルト薬品工業製の α -アミラーゼ「ユニアーゼ YM-8」及びグルコアミラーゼ「ユニアーゼ 30」を用いた。2.1.1と同じ方法で調製した炊飯米10グラムに対して、 α -アミラーゼ、グルコアミラーゼそれぞれを0.1、0.3、0.5、1.0%添加し、50℃で30分間反応させた。その後、100℃で10分間処理し、酵素反応を停止させた。

本反応液を流水中で冷却した後に、遠心処理して得られた上清を採取し410 nmでの吸光度及びエキスを測定した。さらに、米の糖化度を検討するために、和光純薬（株）製グルコース CII テストワコーを用いてグルコース量を測定した。

2.1.3 糖化酵素を用いた米ペーストに含まれる糖組成の測定

2.1.2で製造法を確立した米ペーストの糖組成はUPLC装置（Waters, ACQUITY）を使用して測定した。まず、米ペースト20グラムに対して、超純水50 mLを添加し、30分間攪拌を行った後に遠心処理（4,500 rpm、10分間）して得られた上清を測定試料とした。

なお、分析条件は以下のとおりである。

溶離液；75% アセトニトリル溶液

流速；0.1 mL/min

分析カラム；BEH Amide Column（直径2.1 mm×75 mm）

検出器；蒸発光散乱検出器

なお、分析項目としては単糖類のグルコース、二糖類のマルトースを設定し、それぞれの標準品をスタンダードとして測定に用いた。

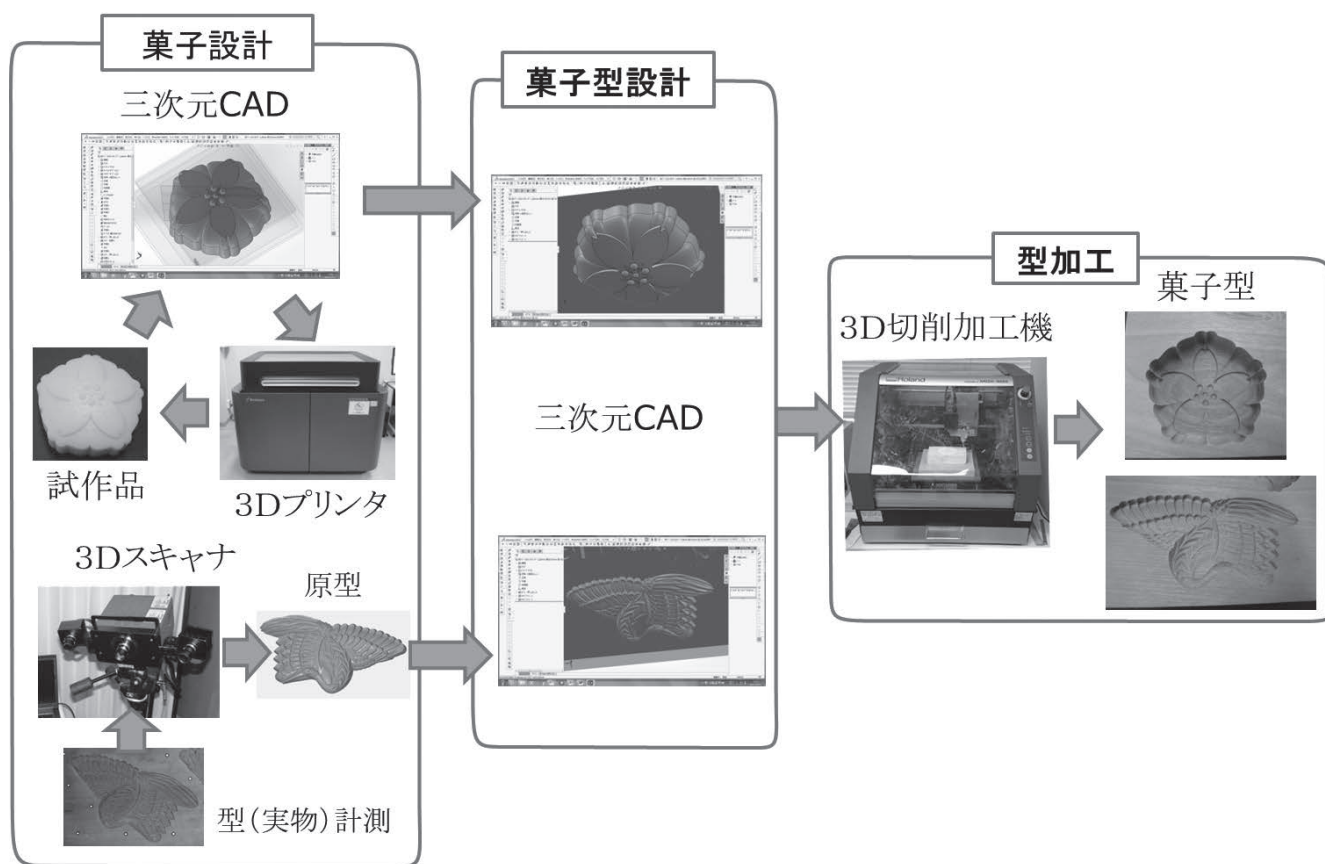


図1 菓子型開発システム構成図

2.2 デジタル製造技術を活用した菓子型の開発システム

2.2.1 システム構成

三次元CAD並びに三次元プリンタ技術を用いた菓子型の開発システムのシステム構成を図1に、また、そのスペックを表1に示す。

表1 装置スペック

3DCAD ソフトウェア		3Dプリンタ	
モデル形式	ワイヤ、サーフェス、ソリッド	造形方式	インクジェット紫外線硬化
モデリング方式	フィーチャーベース	造形解像度	600dpi (X, Y 軸) 1600dpi (Z 軸)
モデリングカーネル	342×342×200mm	造形サイズ	342 × 342 × 200mm
モデリング機能	ソリッド/サーフェスモデリング	造形精度	±0.1mm
入出力形式	IGES, STEP, Parasolid, STL	積層厚	16 μm、30 μm
3D スキャナ		3D 切削加工機	
測定方式	非接触 CCD カメラ	切削方式	CNC3 軸切削加工
カメラ解像度	800,000画素	機械的分解能	0.002mm/step
測定範囲	125 × 100 × 90mm	造形サイズ	305×305×105mm
測定精度	±0.017mm	送り速度	7~3,000mm/min (X, Y 軸) 7~1,800mm/min (Z 軸)
測定点間距離	0.12mm	スピンドル回転数	4,500~15,000rpm

2.2.2 性能試験

新しい商品を型化する技術を構築し、本システムが新規菓子型製作に十分な性能を持つことを検証するために、口砂香を例にとり、実際の形状構築法の検討と形状構築、口砂香形状から菓子型の成形実験と成型品の細部の再現性を試験した。

(1) 菓子の押し型の形状特徴

押し型の菓子の形状は、なだらかな形状からなるベース部分と細かな盛り上がり/切込み部分である細部の詳細部分から構成される特徴を持つ。

(2) 菓子形状構築法

上記を踏まえ、ベース部分の形状の構築方法は、図3に示すように、上から見た時の輪郭形状に盛り上がりを与えることにより形状を構築する。

また、輪郭部分詳細部分である細部は、図4に示すように、鋭角や丸みで与える輪郭形状を軌道に沿って掃引した形状で盛り上がりや切込みを与えることにより形状を構築する。

以上により構築した口砂香形状を図5に示す。

口砂香形状が構築できれば、菓子型は、菓子形状を包含する直方体形状から菓子形状を取り去ることにより作成することができる。その菓子型形状を図6に示す。

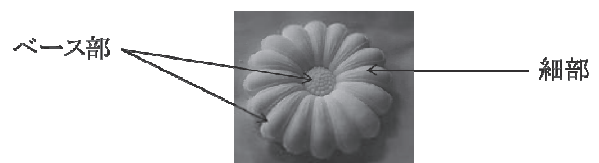


図2 押し型菓子の形状特徴



図3 ベース部分の形状構築

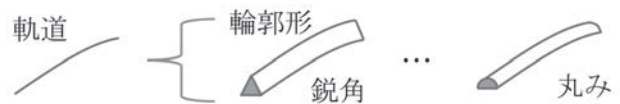


図4 細部の形状構築

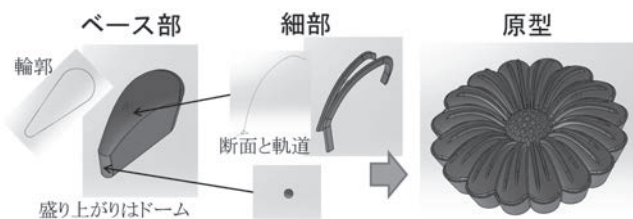


図5 口砂香形状のモデリング

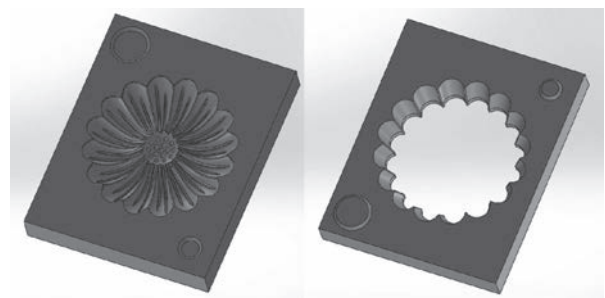


図6 口砂香菓子型形状 (左:下型、右:上型)

(3) 菓子型の加工実験と細部の再現性試験

菓子型の材料としては、食品の型として使用可能な木型としてがば桜を使用した。加工データを表2に示す。いずれも、荒加工と仕上げ加工により加工した。

表2 加工条件

材質	がば桜
加工工具	(荒) R1.5mmボールエンドミル (仕上げ) 下型: R0.75mm ボールエンドミル、上型: R1mm ボールエンドミル
切削速度	(荒) 450mm/min (仕上げ) 450mm/min
スピンドル回転数	(荒) 9,750rpm (仕上げ) 9,750rpm
切込み量/パス間隔	(荒) 0.30/1.20mm (仕上げ) 0.10/0.10mm

上記加工条件で菓子型を製作し、元データと菓子型、及び菓子型により成型した口砂香を計測し、元のCADデータとの形状位置(偏差)による比較による評価を行った。

3. 結果と考察

3.1 県産米を利用したペースト製造技術の確立

3.1.1 セルラーゼを用いた米可溶化技術の検討

「にこまる」を炊飯させたものに対して、市販セルラーゼを0.1から1%分添加し酵素分解を行ったところ、添加量が増すほど米は可溶化していることが観察された。さらに、米の酵素分解物から得られた上清の吸光度を測定することにより、可溶化の程度を測定した。

表3 セルラーゼ添加量が米の可溶化に及ぼす影響

セルラーゼ添加 (%)	A ₄₁₀ (白濁度)
0	1.072
0.1	1.827
0.3	1.815
0.5	1.748
1.0	1.762

その結果、セルラーゼを添加すると吸光度は増加し、米の溶解度が進んでいることが判明したが、0.1%添加試料においてA₄₁₀値は最大に達しており、0.3%以上では酵素濃度を高めても吸光度が増加しなかった。

さらに、セルラーゼ反応物から遠心処理により得ら

れたエキスを測定した。

表4 セルラーゼ反応物のエキス量変化

セルラーゼ添加量 (%)	エキス量 (mL)
0	0.2
0.1	4.8
0.3	6.0
0.5	6.6
1.0	6.9

添加したセルラーゼにより炊飯米が可溶化した場合、含有する水分が溶出することから、エキス量は増加するものと考えられる。本結果を見ると、セルラーゼ添加量に伴ってエキス量は増加しており、0.5%添加試料ではほぼ一定に達していた。先述の吸光度により可溶化の程度を検討した結果(表3)は、0.3%濃度で一定レベルに達していることを示しており、本結果と異なるものであった。この差異は、酵素作用により米の可溶化が進行し水分量が増加したため、結果として白濁度が低下したことに由来すると考えられた。米ペーストの効率的な製造を達成するためには、セルラーゼ添加量が0.5%程度必要と考察される。

3.1.2 糖化酵素を用いた米ペースト製造法の検討

3.1.1で検討した、0.5%濃度のセルラーゼを作用させた炊飯米に α -アミラーゼ及びグルコアミラーゼ剤を添加し、米デンプンの糖化を促進することにより、ペーストの製造を試みた。まず、 α -アミラーゼである「ユニアーゼYM-8」を使用した検討を行った。

表5 α -アミラーゼ添加量が米ペースト製造に及ぼす影響

α -アミラーゼ添加量 (%)	エキス量 (mL)	デンプンの糖化度
0	3.5	0.355
0.1	14.3	1.163
0.3	14.7	1.237
0.5	15.3	1.306
1.0	16.5	1.340

α -アミラーゼ添加量に伴い、エキス量及びデンプンの糖化は進行し、エキス量は1.0%まで増加したのに対して、糖化の程度は添加量0.5%でほぼ一定に達していた。本結果から、 α -アミラーゼを用いた米ペースト製造には、0.5%以上の酵素添加を要すると考え

られた。さらに、セルラーゼ処理した炊飯米にグルコアミラーゼを添加し、同様の検討を行った。

表6 グルコアミラーゼ添加量が米ペースト製造に及ぼす影響

グルコアミラーゼ添加量 (%)	エキス量 (mL)	デンプンの糖化度
0	3.5	0.355
0.1	14.0	1.302
0.3	15.0	1.343
0.5	16.3	1.591
1.0	16.6	1.792

表6からわかるように、グルコアミラーゼの添加量を増加させた場合、得られたエキス量は徐々に増加し、添加量 0.5% でほぼ最大に達していた。また、デンプンの糖化程度は添加量 1.0% まで増加しており、本酵素を用いた米ペースト製造には、0.5% 以上の添加が必要である。

表5及び表6の 520 nm での吸光度値を比較すると、本グルコアミラーゼ添加ペーストが α -アミラーゼ添加物よりも高い数値を示したことから、グルコアミラーゼを使用したペーストが強い甘味を有する可能性が示唆された。

3.1.3 糖化酵素を用いた米ペーストに含まれる糖組成

米ペーストに含まれる糖の組成を測定した結果を表7に示す。まず、セルラーゼ製剤のみを添加した米ペーストでは、グルコースのみが生成していた。この結果は、米細胞壁を構成するセルロースにセルラーゼが作用し、グルコースが遊離した結果と考えられる。3.1.1で、セルロースの作用により炊飯米が可溶化したことを確認しているが、米の可溶化には、セルロースの働き、すなわち細胞壁を溶解しグルコースを生成することが関係していることが示された。

次いで、セルラーゼに加えて α -アミラーゼを作用させたペーストでは、マルトースが多く生成されていた。これは、エンド型酵素である α -アミラーゼの作用により米デンプンからマルトースが生成された結果である。

一方、セルラーゼ及びグルコアミラーゼを添加した試料ではグルコースが多く生成されており、エキソ型

の酵素であるグルコアミラーゼがデンプンに作用した結果である。

さらに、セルラーゼ、 α -アミラーゼ、グルコアミラーゼの3種の酵素を同時に用いたペーストを製造し、糖組成を測定したところ、グルコース及びマルトースが共に生成されており、甘味を高めたペーストを製造できる可能性が示された。

ここで、ペーストの甘味度を算出するために、グルコース、マルトースの甘味度 (0.69, 0.46) を用いて計算した結果、セルラーゼのみ添加; 1.4、セルラーゼ、 α -アミラーゼ添加; 13.6、セルラーゼ、グルコアミラーゼ添加; 13.6、セルラーゼ、 α -アミラーゼ、グルコアミラーゼ添加; 18.3 (100 gあたり) であり、3種の酵素を用いたペーストが最も高い甘味度を示した。

以上の結果から、3種の酵素を用いて製造した米ペーストにはグルコース及びマルトースが豊富に含まれていることが判明し、強い甘味を有することが明らかになった。

表7 米ペーストに含まれる糖の組成

	グルコース (g/100 g)	マルトース (g/100 g)
セルラーゼ添加	2.0	—
セルラーゼ, α -アミラーゼ添加	5.3	21.7
セルラーゼ, グルコアミラーゼ添加	17.9	2.8
セルラーゼ, α -アミラーゼ, グルコアミラーゼ添加	19.8	10.1

3.2 加工と細部の評価

(1) 加工結果

図7に試作した菓子型を示す。いずれも、切削加工後の仕上げ処理は行っていない。

加工時間は、表8に示すとおりである。

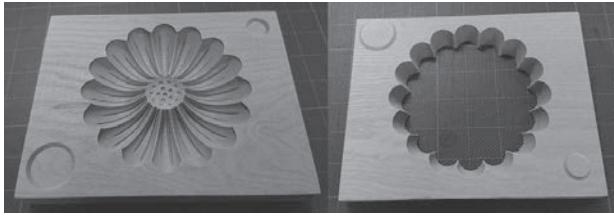


図7 菓子型 (左 下型、右 上型)

表8 切削加工時間

	上型	下型
材質	がば桜	がば桜
荒加工 min	143	288
仕上げ加工 min	749	451

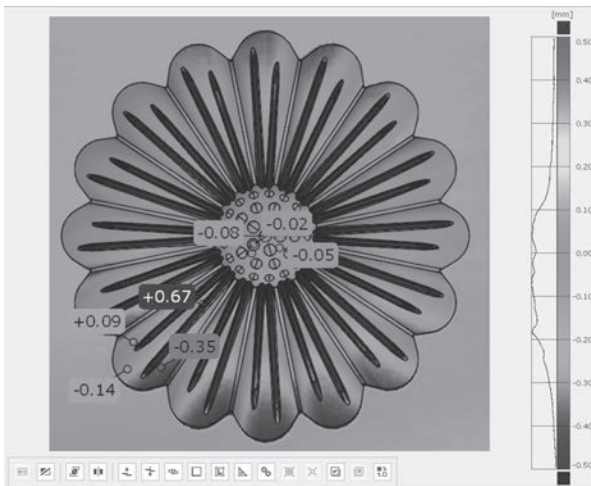


図8 偏差マップ

図7に示す菓子型（下型）の計測データと切削のCADデータを同じ位置に配置し、位置座標値の比較を行った偏差マップを図8に示す。

部分的に0.5mmを超える領域が見受けられるが、これは木材特有の繊維の方向による逆目の影響と考えられる。大半が仕上げ工具の半径0.75mm以下に収まっており、菓子型としては十分な形状再現性である。

(2) 菓子形状構築法による原型製作

2. 2. 2 (2) で述べた新規菓子形状構築法により作成した例を図9に示す（上図、中図、下図）。

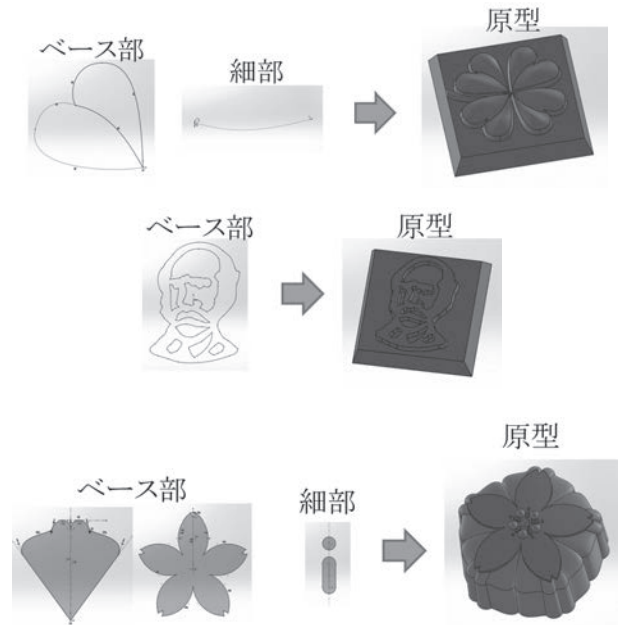


図9 新規原型構築例

(3) 適用事例

本菓子型の開発システムにより実際の商品製作に適用した例を示す。ここでは、5月の節句の伝統菓子である鯉菓子の既存の赤鯉の型（赤型）から欠損した黒鯉の型（黒型）について、三次元スキャナによる形状計測と3DCADによる型データ作成により型を製作し、がば桜を切削加工し黒型を作成した。使用した工具は、荒加工 R1.5mm ボールエンドミル、仕上げ加工 R0.5mm ボールエンドミルである。

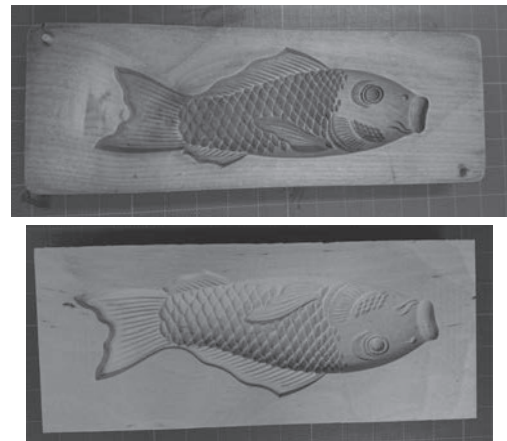


図10 鯉菓子木型（上 既存赤型、下 再現した新規黒型）

形状再現性を評価するために、図10に示す既存型と再現した新規型の計測データを同じ位置に配置し、位置座標値の比較を行った偏差マップを図11に示す。

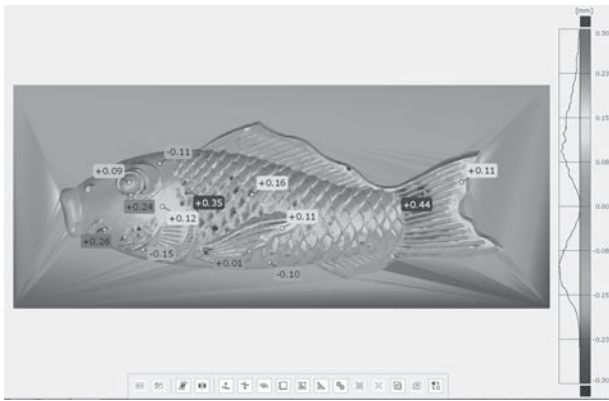


図 1 1 偏差マップ

大半が仕上げ加工工具の半径 0.5mm 以下に収まっており、菓子型として十分な形状再現性であることが確認できた。

既存の赤型と再現された黒型により成形された鯉菓子を図 1 2 に示す。



図 1 2 鯉菓子（赤と黒）

4. 結 言

1) 県産米である「にこまる」を原料としたペースト製造法を検討した結果、炊飯米に対して 0.5% のセルラーゼと 0.5% 以上の α -アミラーゼあるいは同濃度のグルコアミラーゼを添加し、50℃で 3 時間反応させることにより、甘味を有する米ペーストが製造できた。

また、3 種の酵素を用いて製造した米ペーストは、グルコース及びマルトースを豊富に含み、強い甘味を有することが明らかになった。

2) 新規型製作技術として、特徴曲線から立体データを作成する方法を検討し、三次元 CAD、三次元スキャナ並びに三次元切削加工機を活用した菓子型開発システムを構築し、その性能評価を行い、菓子製作で十分活用できる性能を持つこと、さらに、和菓子製作に応用し、実際に活用できることが確認できた。

今後は、県菓子工業組合の組合企業による菓子素

材や型の利用を進め、新製品の開発を推進する。