

島豆腐製造条件の最適化

品質工学の適用による豆腐の硬さの制御と安定生産条件の決定

豊川哲也、金城要*¹

島豆腐の重要な品質項目である硬さについて、品質工学の手法を適用して製造条件を最適化し、破断強度のばらつきを半分に低減しつつ、破断強度値を1.6倍向上させる製造条件を見出した。

1. はじめに

沖縄で製造される豆腐は、沖縄県民の間では「島豆腐」の呼称で親しまれており、日本本土の豆腐とは製法や流通方法および喫食方法が異なっている。島豆腐は大豆をすりつぶした呉（ご）を、豆乳とおからに分離後に豆乳を地釜で加熱し、にがりや海水で凝固させる生搾り法で製造される。また、島豆腐は水晒しをせず、温かいままで流通している。喫食方法については、本土の木綿豆腐の喫食法が汁物および冷や奴が中心であるのに対し、沖縄では、温かいままの生食とともに、炒め物、煮付け等の喫食法が主流である。そのため、島豆腐には炒め物の具としての硬さや弾力性が要求されている。

筆者らは、島豆腐と本土の木綿豆腐の物理・化学的特性について検討し、静的粘弾性に関して島豆腐が固くて弾力がある¹⁾ことを明らかにした。

島豆腐は、冷却せずに温かい状態で流通している。また、消費者も温かい豆腐を求めているため、豆腐製造業者は一日に数回の納品を行っている。そのため、配送ルートも近距離に限定せざるをえず大量生産ができない市場構造となっている。そのため、機械化が進まず製造工程の大半が人手に任されており、味や硬さを一定に保つことが困難である。

近年、技術開発・新製品開発を効率的に行う開発技法である品質工学^{2)~4)}が注目を集めている。そこで、島豆腐の品質向上に関して同手法の適用を試みた。

2. 実験方法

2-1 豆腐の調製、破断強度の測定、官能評価

島豆腐の調製、破断強度の測定および官能評価は、既報¹⁾に従って行った。

2-2 品質工学について

従来の技術・製品開発では、無数の条件組み合わせのなかから、重要そうな製造因子を選定し、いくつかの水準を設定して品質特性を調べる一因子実験を行うのが一

般的である。しかし、この方法では最適解と考えた因子水準を組み合わせた場合、予想もしなかった問題が発生し、これを解決するために再試験を繰り返すという場合がほとんどである。

品質工学では、パラメータ設計という手法により、少ない組み合わせの実験で、ばらつきが少ない最適条件を効率よく設定することが可能である。そのため、開発・設計のフロントローディング化に有効で、着実に普及しつつある手法である。

2-3 パラメータ設計

パラメータ設計における SN 比と感度の解析は解析ソフト (Qeq304E、(社)山陽技術研究会) を用いた。

3. 結果と考察

3-1 基本機能について

品質工学ではシステムの基本機能を明確にし、これを改善することで頑健性のある系を実現することを目的としている。島豆腐は、炒め物や煮物に利用されるため適度な硬さが要求される。そのため、島豆腐における重要な基本機能は硬さであると考えた。今回の試験においては、大豆の品種を誤差因子とした。また、豆腐の硬さや弾力を制御できると考えられる保存温度を信号因子として設定し、保存温度を 25℃、60℃と変化させて硬さの指標である破断荷重を測定した。また、同時に官能評

表 1 制御因子と水準

制御因子	第1水準	第2水準	第3水準
A 豆乳調製法	生搾り*	煮取り	
B 成型法	直接法	排出法*	潰崩法
C 凝固剤濃度	2/3倍	現行*	2倍
D 昇温速度	6℃/分	3℃/分*	1.3℃/分
E 豆乳濃度	6%	8%*	10%
F 凝固剤種類	粗製塩化マグネシウム	食添用塩化マグネシウム*	海水
G 凝固温度	65℃	70℃*	75℃
H 殺菌時間	2分*	10分	30分

アスタリスク(*)を付した条件が現行条件

*1) 非常勤職員

価を行い食品の1次機能である嗜好性についても評価した。本試験では、L18直交表を適用し2水準の信号因子と誤差因子を割り付けて動特性を解析することとした。表1に制御因子と水準を示す。アスタリスク(*)を付した条件が現行条件である。なお、直行表の外側に誤差因子N1として大豆品種P93B82およびN2フクユタカを、信号因子として保存温度M1(25℃)、M2(60℃)を割り付けた。破断試験を行い表2に示す破断強度値を得た。破断強度に関する要因効果図を図1に示す。SN比は機能の安定性(基本機能からのばらつき)を評価する尺度であり、SN比が大きいほどシステムの頑健性が高いことを示す。また、感度は性能レベル(破断強度)の大きさの尺度を示し、感度の大きな水準は破断強度のレベルを制御する指標となる。すなわち、SN比は破断強度のばらつきを制御する指標であり、感度の大きな水準は破断強度の大きさを制御する指標である。品質工学では、まずSN比のみを評価して頑健性のある組み合わせを求め、その後SN比を維持しながら感度を調整する2段階設計を行う。図1からSN比の組み合わせが最も高くなる条件はA₁B₃C₂D₃E₂F₂G₁H₁(生絞り、潰崩法、凝固剤濃度現行、昇温速度1.3℃/分、豆乳濃度8%、食添、凝固温度65℃、殺菌時間2分)で

ある。アルファベットと添字は制御因子と水準を示し、たとえばB₃は制御因子B(成型法)の第3水準である潰崩法を表す。さらに、この条件から、感度の利得も得られるようにチューニングを行い最適組み合わせ条件A₁B₃C₂D₃E₂F₂G₁H₁を得た。確認試験の結果を表3に示す。現行条件のSN比の推定値が-28.67dbであるのに対し、確認値は-26.03dbとよく一致したことから再現性のある結果が得られたと考えられる。最適条件では、SN比の利得が3.07db(実数で2.0倍)、感度の利得が2.07db(実数で1.6倍)となり、豆腐の硬さに関して製造工程の改善が図れることが明らかとなった。今回、SN比の利得が小さく改善効果はそれほど大きくなかった。これは、信号因子の加法性が不十分であるためだと

表3 確認試験

SN比[db]	現行条件	最適条件	利得
推定	-28.67	-22.27	6.40
確認	-26.03	-22.96	3.07
感度[db]	現行条件	最適条件	利得
推定	19.32	21.04	1.72
確認	6.40	8.47	2.07

表2 破断荷重

		誤差因子(大豆種類)							N1(P93B82)		N2(フクユタカ)	
		信号因子(保存温度)							M1(25℃)	M2(60℃)	M1(25℃)	M2(60℃)
実験番号	豆乳調製法	成型法	凝固剤濃度	昇温速度	豆乳濃度	凝固剤種類	凝固温度	殺菌時間				
1	生絞り	直接法	2/3倍	6℃/分	6%	粗製 MgCl	65℃	2分	97.0	71.0	66.7	125.3
2	生絞り	直接法	現行	3℃/分	8%	食添 MgCl	70℃	10分	134.3	133.7	135.3	123.3
3	生絞り	直接法	2倍	1.3℃/分	10%	海水	75℃	30分	50.0	70.7	66.7	1.0
4	生絞り	排出法	2/3倍	6℃/分	8%	食添 MgCl	75℃	30分	86.7	107.7	94.0	117.3
5	生絞り	排出法	現行	3℃/分	10%	海水	65℃	2分	80.3	91.7	117.3	134.7
6	生絞り	排出法	2/3倍	1.3℃/分	6%	粗製 MgCl	70℃	10分	108.3	153.0	146.7	106.7
7	生絞り	潰崩法	2/3倍	3℃/分	6%	海水	70℃	30分	1.0	1.0	71.3	86.0
8	生絞り	潰崩法	現行	1.3℃/分	8%	粗製 MgCl	75℃	2分	98.3	152.0	122.0	132.0
9	生絞り	潰崩法	2/3倍	6℃/分	10%	食添 MgCl	65℃	10分	120.0	143.3	163.3	144.0
10	煮取り	直接法	2/3倍	1.3℃/分	10%	食添 MgCl	70℃	2分	1.0	1.0	1.0	1.0
11	煮取り	直接法	現行	6℃/分	6%	海水	75℃	10分	90.0	111.0	1.0	1.0
12	煮取り	直接法	2/3倍	3℃/分	8%	粗製 MgCl	65℃	30分	131.0	142.3	42.7	69.0
13	煮取り	排出法	2/3倍	3℃/分	10%	粗製 MgCl	75℃	10分	97.0	129.0	1.0	1.0
14	煮取り	排出法	現行	1.3℃/分	6%	食添 MgCl	65℃	30分	122.7	110.3	63.7	75.0
15	煮取り	排出法	2/3倍	6℃/分	8%	海水	70℃	2分	1.0	1.0	56.0	77.0
16	煮取り	潰崩法	2/3倍	1.3℃/分	8%	海水	65℃	10分	1.0	1.0	1.0	1.0
17	煮取り	潰崩法	現行	6℃/分	10%	粗製 MgCl	70℃	30分	63.3	80.7	92.7	125.3
18	煮取り	潰崩法	2/3倍	3℃/分	6%	食添 MgCl	75℃	2分	148.0	159.7	82.0	110.0

破断荷重値が1.0の場合は成型できなかった事を示す。

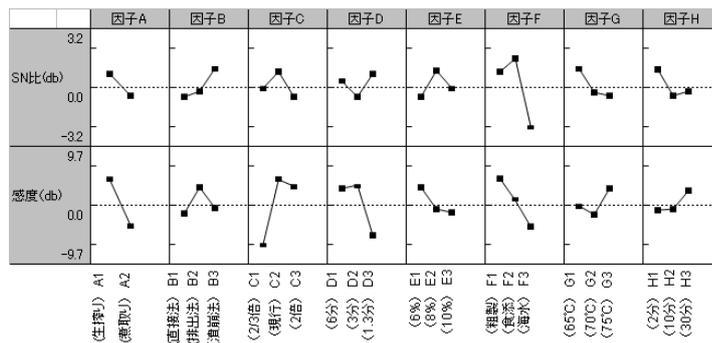


図1 硬さに関する因子効果のグラフ

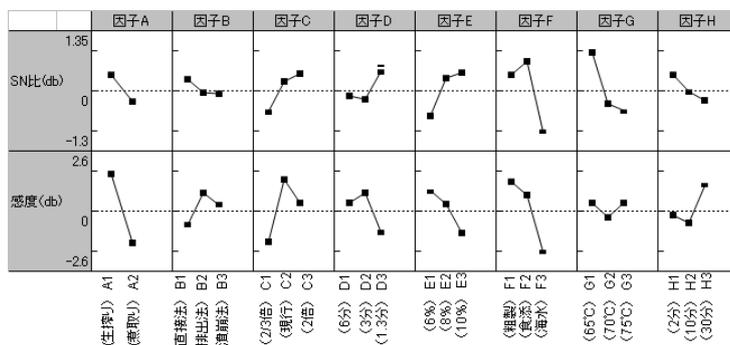


図2 嗜好に関する因子効果のグラフ

表4 官能値に関する点推定

	現行条件	SN比	利得	感度	利得	両立条件	利得
		最適条件		最適条件			
SN比	-27.95	-22.46	5.49	-26.95	1.00	-25.26	2.69
感度	-18.29	-26.02	-7.73	-14.45	3.84	-16.18	2.11

考えられる。別試験の結果⁵⁾から、豆腐の硬さに影響を与える因子が豆乳濃度、凝固温度、殺菌時間および昇温速度であることが明らかとなっていることから、これらの因子を信号条件とすることで更なる品質の向上が図られることが期待される。

3-2 嗜好に関する検討

官能評価値の要因効果図を図2に示す。なお、官能評価値は総合評価により解析を行なった。また、計算の都合上、原データに4点を加えて解析した。

SN比最適条件、感度最高条件およびSN比と感度の両方の利得が得られるように条件選択した点推定の結果を表4に示す。SN比優先の条件、すなわち味の安定した条件はA₁B₁C₃D₃E₃F₂G₁H₁であり、感度優先の条件、すなわち嗜好性に優れた条件はA₁B₂C₂D₂E₁F₁G₁H₃であった。また、SN比・感度ともに利得が得られる条件は、A₁B₂C₂D₂E₂F₂G₁H₃となるこ

とが推定された。

4 まとめ

島豆腐の品質向上に関して、技術開発・新製品開発を効率的に行う開発技法である品質工学の適用を試みた。その結果、島豆腐の重要な品質特性である硬さに関して頑健性で2倍、破断荷重で1.6倍の改善が図られた。また、官能評価値の解析から風味の安定性およびおいしさの向上につながる条件が推定できた。

本研究は、平成21年度沖縄地域イノベーション創出共同体形成事業研究開発環境支援事業の成果の一部である。

参考文献

- 1) 豊川、上原、望月、世嘉良、玉村、比嘉、沖縄豆腐と日本豆腐の物理的・化学的特性比較、平成20年度沖縄県工業技術センター研究報告

- 2) 田口・久米編、化学・薬学・生物学の技術開発
(品質工学応用講座)、日本規格協会
- 3) 島田、渡辺、品質工学の手法を用いた伝送損失のシミュレーション解析、エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集、Vol. 21 (2007)
- 4) 矢野、竹中、品質工学の各種診断技術の応用、日本経営診断学会論集、Vol. 7 (2007)
- 5) 豊川、金城、望月、上原、製造条件が島豆腐の食味に与える影響について、平成 21 年度沖縄県工業技術センター研究報告

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。