

平成29年3月31日

安全な農林水産物安定供給のためのレギュラトリーサイエンス研究委託事業
研究成果報告書

課題番号：2801

加圧調理がアクリルアミド生成に及ぼす影響の検証

研究期間：平成28年度（1年間）

研究総括者名：小野 裕嗣

試験研究機関名：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
高度解析センター

学校法人 香川栄養学園 女子栄養大学短期大学部

学校法人 東京家政学院 東京家政学院大学

1 研究目的

家庭で圧力調理を行う際にアクリルアミド生成と関連する要因を明らかにし、アクリルアミド低減調理の参考となるポイントを整理するとともに、参考レシピを提案する。

2 研究内容

(1) 研究課題

- 1) 中課題1：加圧下での炊飯がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価
加圧下の炊飯調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価する。

・小課題1：炊飯調理の品目と調理条件の検討【農研機構】

家庭で使用される調理器具を用いて、玄米、分搗き米、白米等について、圧力が異なる複数の圧力鍋を用いて炊飯する場合と、炊飯器を用いて炊飯する場合の調理条件を整理する。また、お焦げがしやすい炊き込みご飯などの調味料を使ったメニューや、土鍋を用いた炊飯についてもメニューの品目と調理条件を整理する。

・小課題2：加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価【東京家政学院大学】

小課題1で検討した品目と調理条件について優先順位をつけながら実際の調理を行い、調理品のアクリルアミド濃度を分析し、加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価する。

- 2) 中課題2：食品の加圧調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価
炊飯以外の食品について加圧下の調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価する。

・小課題1：モデル調理によるアクリルアミド生成の調査【女子栄養大学短期大学部】

炒め調理において高濃度でアクリルアミドを生成することが知られている野菜品目等について、調味料等を用いないモデル調理条件での圧力調理によるアクリルアミドの生成について調査する。

・小課題2：対象となる調理品目と調理方法の検討【女子栄養大学短期大学部】

小課題1のモデル調理の結果を踏まえて、調味料や副材料を用いた実際の圧力調理レシピから、アクリルアミドを多く生成する可能性のあるものを抽出・整理する。

・小課題3：加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価【農研機構】

小課題2で検討した調理メニューについて、優先順位をつけながら実際の調理を行い、調理品のアクリルアミド濃度を分析し、加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価する。また、調理条件の違いによりアクリルアミド濃度が異なるケースが見出された調理メニューについて簡単な食味評価を行い、喫食者にとって受容可能と考えられる低減助言の内容を検討する。

(2) 年次計画

項目	平成28年度
1. 加圧下での炊飯がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価	
(1) 炊飯調理の品目と調理条件の検討	調理方法、調理条件、品目の検討 (農研機構)
(2) 加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価	調理の実施・アクリルアミドの分析・影響評価と低減調理の検討 (東京家政学院大学)
2. 食品の加圧調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価	
(1) モデル調理によるアクリルアミド生成の調査	モデル調理の実施・アクリルアミドの分析 (女子栄養大学短期大学部)
(2) 対象となる調理品目と調理方法の検討	調理方法、調理条件、品目の検討 (女子栄養大学短期大学部)
(3) 加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価	調理の実施・アクリルアミドの分析・影響評価と低減調理の検討 (農研機構)
所要経費 (合計)	2,943 千円

(3) 実施体制

項目	担当研究機関	研究担当者		エフォート (%)
研究総括者	農研機構	小野 裕嗣		10
1. 加圧下での炊飯がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価	東京家政学院大学	○	竹中 真紀子	10
(1) 炊飯調理の品目と調理条件の検討	農研機構	△	小野 裕嗣	前出
(2) 加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価	東京家政学院大学	△ △	三宅 紀子 竹中 真紀子	10 前出
2. 食品の加圧調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価	女子栄養大学短期大学部	○	三好 恵子	10
(1) モデル調理によるアクリルアミド生成の調査	女子栄養大学短期大学部	△ △	三好 恵子 長田 早苗	前出 10
(2) 対象となる調理品目と調理方法の検討	女子栄養大学短期大学部	△ △	三好 恵子 長田 早苗	前出 前出
(3) 加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価	農研機構	△	小野 裕嗣	前出

研究担当者欄について、中課題担当者には○、小課題担当者には△を付すこと。

3 研究推進会議の開催状況

別紙の(1)のとおり

4 研究成果の概要

I 主要な成果

(1) 成果の内容（別紙の（2）参照）

1) 玄米炊飯における加圧調理がアクリルアミド生成に及ぼす影響の評価

加圧調理は玄米炊飯時のアクリルアミド生成量に増加の影響を与えうるが、現実的な加圧調理条件では単独で突出して寄与の高い要因ではなく、調理器具の種類や炊飯時の水量など、他の複数の要因が影響を与えていることを明らかにした。アクリルアミドを低減するために加圧調理を避けることは、コントロールされない他の要因の存在により十分な効果が期待できないため、推奨できない（p18【工程表②】の1、p20【工程表②】の2）。

2) 白米炊飯における加圧調理がアクリルアミド生成に及ぼす影響の評価

白米炊飯時のアクリルアミド生成への加圧調理の影響は殆どないことを明らかにした（p24【工程表②】の4、p25【工程表②】の5）。

3) 炊き込みご飯で生じるアクリルアミド生成量の白飯との比較による評価

白飯と炊き込みご飯について、種々の調理器具を用いた炊飯調理の結果、白飯と炊き込みご飯との間でアクリルアミド濃度に差が認められないことを明らかにした（p27【工程表②】の6）。

4) 玄米炊飯で生成するアクリルアミドの低減に資する知見

圧力鍋による加圧、常圧条件及び炊飯器の3つの調理条件において、水を多めにして玄米を炊飯するとアクリルアミド濃度が大幅に減少する知見を得た（p22【工程表②】の3）。

5) 炊飯米を通じたアクリルアミドの摂取量について

本研究で試験した炊飯米（白米）からは、全ての調理条件でアクリルアミドを検出（検出限界 $0.2 \mu\text{g/kg}$ ）しており、その濃度は、食品安全委員会が取りまとめた日本人のアクリルアミドの推計摂取量の積算根拠となった炊飯米（白米）の分析値（ $0.59 \mu\text{g/kg}$ ）よりも高い値であった（p29【工程表②】の8）。

6) 野菜の加圧調理時がアクリルアミド生成に及ぼす影響の評価

炒め調理で高濃度のアクリルアミドを生成しやすい品目について検討した結果、高圧・高温かつ長時間の加圧調理¹はアクリルアミド生成量に増加の影響を与えることを明らかにした (p37【工程表①】の1及び2、p41【工程表①】の3及び4)。

7) 野菜類の加圧調理においてアクリルアミドの生成量が少ない条件に関する知見

① 95 kPaG (119℃) 以下の加圧条件では、アクリルアミドはほとんど生成しなかった²。

② 高温・高圧 (146 kPaG、128℃) の加圧調理でも、加圧調理時間が沸騰後 2 分以内であれば、アクリルアミドはほとんど生成しなかった (5 µg/kg 未満) (p37【工程表①】の1及び2、p41【工程表①】の3及び4)。

野菜類の加圧調理で生じるアクリルアミドに関する消費者向けの情報について

野菜類の家庭での加圧調理では、炒め調理に比べてアクリルアミドはほとんど生成しないか、低い濃度に留まるため、加圧調理を避けるなどの特段の対応は必要ないと考えられる。なお、調理器具の説明書や参考レシピ等に従って、

① 加圧調理をする際は調理時間を長くしすぎない、

② 適宜、低い設定圧力を選択して使用する、

ことは、アクリルアミドを少しでも生成しにくくする上で有効である。①及び②は光熱量の節約や食材の風味を損なわないという観点からも取り組みやすく理にかなっているため、検証はできていないが、消費者の受容が期待できる提言と考えられる (p44)。

(2) 成果の活用 (別紙の (2) 参照)

なし

¹ 5 µg/kg 以上の生成が見られた温度と時間

- ・れんこん 146 kPaG (128℃)、5 分以上
- ・ごぼう 146 kPaG (128℃)、5 分以上
- ・じゃがいも 影響なし (146 kPaG (128℃)、10 分で 2 µg/kg 以上の生成)
- ・カレー (人参、玉ねぎ、じゃがいも、肉) 146 kPaG (128℃)、10 分

² 最高圧が 140 kPaG の圧力鍋の結果も定量下限未満の低い分析値を示したが、データロガーで内部の温度履歴を確認したところ、最高圧に達した後に熱源出力を弱めて加熱を維持するところで内部温度が徐々に下がっていたため、本項の成果の記載では除外している。

II 各研究課題の成果

(1) 中課題1 (加圧下での炊飯がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価) の研究成果

1) 工程管理及び成果目標

工程表
① 家庭で使用される調理器具を用いて、玄米、分搗き米、白米等について、圧力が異なる複数の圧力鍋を用いて炊飯する場合と、炊飯器を用いて炊飯する場合の調理条件を整理する。また、お焦げがしやすい炊き込みご飯などの調味料を使ったメニューや、土鍋を用いた炊飯についてもメニューの品目と調理条件を整理する。(小課題1 関連)。
↓
② 小課題1 で検討した品目と調理条件について優先順位をつけながら実際の調理を行い、調理品のアクリルアミド濃度を分析し、加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価する。(小課題2 関連)。
成果目標：加圧下の炊飯調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価する。

2) 各工程の進捗状況及び成果

【工程表①】

圧力鍋は鍋の蒸気出口にオモリ¹を載せることで、大気圧よりも高い圧力条件で水を沸騰させて、100℃よりも高温で調理を行い、調理時間の短縮や光熱量の節約を可能とするものである。家庭で使用される圧力鍋はメーカーや型式により使用できる圧力が異なっており、また、炊飯器にも加圧機能をうたった製品が存在する。市販されている種々の調理器具の圧力条件についてカタログや説明書の記載を調べたところ、25～146 kPaG²の圧力範囲であり、対応する温度範囲³は110～128℃であった(表1-1)。

¹ 圧力鍋のタイプによっては、同じ原理でオモリの代わりにバネの力を利用しているものもある。1台の鍋で複数の圧力を使い分けられるタイプは重さの違うオモリを使い分けたり、バネの強さが調整可能になっている。

² 圧力単位について(絶対圧とゲージ圧)：圧力は単位面積あたりに作用する力の大きさであり、本報告書では、国際標準であるSI単位系の圧力単位としてkPa(キロパスカル(1 Pa = 1 N/m²))を用い、大気圧との差圧であるゲージ圧として表記した(kPaG)。ゲージ圧に対して、真空を基準とする圧力を絶対圧と呼び、例えば、圧力鍋内部のゲージ圧が146 kPaGで大気圧が101 kPaであれば、絶対圧は146+101=247 kPaとなる。家庭で使用する圧力鍋は、ゲージ圧でスペックが表記されていることが殆どだが、動作原理としても鍋内部の圧力と大気圧の差圧をオモリ等で付与していることから、絶対圧ではなくゲージ圧として制御がなされている。

³ 沸点は、液体が大気圧(圧力鍋では設定圧力)とつり合う飽和蒸気圧を与える温度であることから、ある圧力に対して沸点はその液体の蒸気圧曲線によって一意に定まる(図1-1)。

炊飯器による炊飯米中のアクリルアミド濃度が報告されており¹、平均値で発芽玄米＞玄米＞精白米の順で高く、また、炊飯器の種類によって熱源近傍の鍋肌でのおこげのできやすさの違いがアクリルアミド生成の要因としてあげられている。そこで本課題では、まず玄米についてアクリルアミドの生成が顕著になるとされる 120℃の温度帯を挟んで各種圧力での検討とともに、内鍋を用いておこげの影響を排除した試験、圧力以外の要因の寄与の大きさを見るための各種調理器具（土鍋、炊飯器（電熱、IH 加圧タイプ））と加熱条件を変えた試験を行うこととした（表 1-2：玄米炊飯）。また、鍋内部の温度をデータロガー²で記録してメーカースペックの圧力から期待される温度で調理がなされているかどうかを確認した。

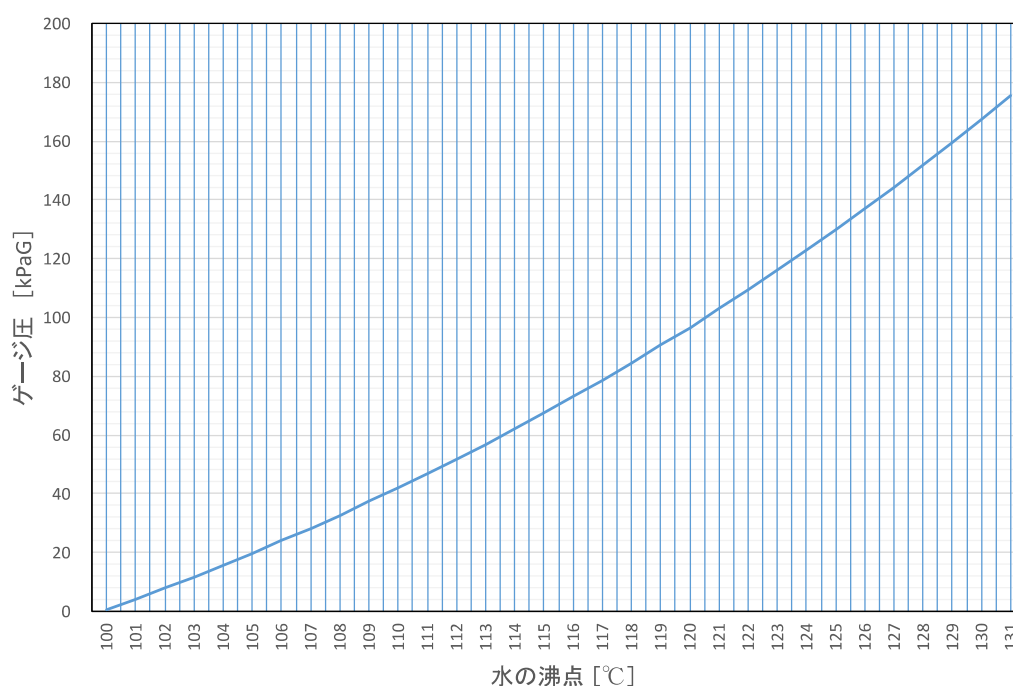


図1-1 ゲージ圧と水の沸点温度の関係。（大気圧を 101.3 kPa として、Antoine の推算式により計算。）

¹ 吉田ら、日本における炊飯米由来のアクリルアミド摂取量評価、日本食品科学工学会誌、58、525-530 (2011)

試料米	玄米		発芽玄米		精白米				胚芽米
炊飯器	A	B	A	B	A	B	B*2	C	C
平均値 [μg/kg]	5.33	0.76	7.83	1.03	1.18	0.59	0.57	0.24	0.50
平均値 [μg/kg]	0.89	0.12	1.09	0.20	0.55	0.09	0.12	0.01	0.31
RSDint*1[%]	17	16	14	19	47	16	22	5.7	62
n	3	3	6	3	3	3	3	5	6

*1 室内再現精度の相対標準偏差

*2 早炊きモードで炊飯

² 使用データロガー：シロ産業（株）製、高温防水高精度温度データロガーMI1TP-251-FRM（鍋内部に留置して使用）及びキーエンス（株）製、TR-1000（0.25mm シース熱電対を圧力鍋パッキンに貫通させて使用。炊飯器等は蒸気出口の隙間から挿入して使用。）

表1-1 压力(温度)範囲と対応する調理器具

		温度範囲 (5℃さき)	非常に高い (125～129℃)	高い (120～ 124℃)	普通 (115～119℃)	低い (110～114℃)	非常に低い (105～ 109℃)	常圧 (100℃)	説明
器具	記号	圧力(ゲージ庄) [kPaG]	146 144 140	115 100	95 85 80 78 70	60 50 45	25	0	
		水の沸点温度 [℃]	128 127 126	122 120	119 118 117 117 115 113 112 110		106	100	
P1	圧力鍋A		○		○			○	本試験で設定した弱火だと最高圧を維持しなかった。
P3	圧力鍋B			○	○			○	
P7	圧力鍋C				○	○		○	
P2	(試験では使用せず)							○	
P4	(試験では使用せず)		○		○			○	
P5	(試験では使用せず)				○			○	アルミニウム製
P6	(試験では使用せず)			○		○		○	
P8	(試験では使用せず)			○		○		○	内面フッ素加工
P9	(試験では使用せず)				○			○	火加減で圧力調節
P10	(試験では使用せず)				○	○		○	
炊飯器	MC	電熱炊飯器 (マイコン式炊飯器)						○	
IH炊飯器	IH	IH炊飯器 (加圧機能付き)					○		蒸らし工程時の鍋底は130℃以上。内鍋内部温度、約280℃の高温炊き上げ。
銅鍋	DN	土鍋						○	
	SZ	ステンレス鍋						○	

表1-2 炊飯調理の実施内容(n=4)

課題	調理内容	圧力(ゲージ圧) [kPa]										高い (120℃ 124℃)		普通 (115～119℃)			低い (110～114℃)		非常に低い (105～ 109℃)	常圧 (100℃)	説明	試験 点数
		実験 記号	圧力(ゲージ圧) 水の沸点温度 [℃]	146 128	144 127	140 126	115 122	100 120	95 119	85 118	80 117	78 117	70 115	60 113	50 112	45 110	25 106	0 100				
中 課 題 炊 飯	玄米炊飯				⑬	⑭	⑮、⑯	⑩、⑪		⑨、⑩				⑧			③、④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬、⑭、⑮、⑯、⑰、⑱、⑲、⑳、㉑、㉒、㉓、㉔、㉕、㉖、㉗、㉘、㉙、㉚、㉛、㉜、㉝、㉞、㉟、㊱、㊲、㊳、㊴、㊵、㊶、㊷、㊸、㊹、㊺、㊻、㊼、㊽、㊾、㊿	一般炊飯でアクリルアミド濃度が高かった玄米で、圧力調理のアクリルアミド生成への影響の有無を検討 内なべ使用は鍋底の煮与を切り分けの実施 ⑩、⑪：加熱時間が異なる。 ⑨、⑩及び③、④：熱源の出力条件が異なる。	80点			
	白米炊飯				⑬	⑭	⑮、⑯	⑩、⑪		⑨、⑩				⑧			③、④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬、⑭、⑮、⑯、⑰、⑱、⑲、⑳、㉑、㉒、㉓、㉔、㉕、㉖、㉗、㉘、㉙、㉚、㉛、㉜、㉝、㉞、㉟、㊱、㊲、㊳、㊴、㊵、㊶、㊷、㊸、㊹、㊺、㊻、㊼、㊽、㊾、㊿	炊き込みご飯との比較試料 ⑨、⑩：熱源の出力条件が異なる。 ⑮、⑯：沸騰後の熱源出力と加熱時間が異なる。 材料：ごぼう、にんじん、調味料、油揚げ、鶏肉 下煮を行わない材料を炊飯するレシピ	40点			
	炊き込みご飯				⑬	⑭	⑮、⑯	⑩、⑪		⑨、⑩				⑧			③、④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬、⑭、⑮、⑯、⑰、⑱、⑲、⑳、㉑、㉒、㉓、㉔、㉕、㉖、㉗、㉘、㉙、㉚、㉛、㉜、㉝、㉞、㉟、㊱、㊲、㊳、㊴、㊵、㊶、㊷、㊸、㊹、㊺、㊻、㊼、㊽、㊾、㊿	⑨、⑩：熱源の出力条件が異なる。 ⑮、⑯：沸騰後の熱源出力と加熱時間が異なる。	56点			
						⑬	⑭	⑮、⑯	⑩、⑪		⑨、⑩				⑧			③、④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬、⑭、⑮、⑯、⑰、⑱、⑲、⑳、㉑、㉒、㉓、㉔、㉕、㉖、㉗、㉘、㉙、㉚、㉛、㉜、㉝、㉞、㉟、㊱、㊲、㊳、㊴、㊵、㊶、㊷、㊸、㊹、㊺、㊻、㊼、㊽、㊾、㊿				

玄米において圧力調理の効果¹が認められたため（後述：【工程表②】）、さらに玄米に準じた条件で白米と炊き込みご飯の試験を行うこととした²。なお、玄米で使用した圧力鍋のうち、沸騰して最高圧に到達した後に熱源出力を下げると温度（圧力）を一定に保持できない機種があったため³、条件から除外した（表 1-2：白米炊飯）。

炊き込みご飯の調理条件は、一般的な炊き込みご飯のレシピを把握し、アクリルアミドが生成しやすいと考えられるレシピとして、ごぼうを使用するレシピで実施することとした（表 1-2：炊き込みご飯）。

レシピ決定の検討詳細

調理学・調理実習の各教科書に掲載されている、炊き込みご飯のレシピ、また認知度の高い料理番組や食品メーカー、著名な料理研究家が公表している炊き込みご飯のレシピを収集し、それらに多く共通する材料および調理法を確認し、炊き込みご飯の「一般的な材料および調理法」とみなした（表 1-3）。一般的な材料を用い、一般的な方法で調理する炊き込みご飯の調理方法ふまえて、「アクリルアミドが生成しやすいと考えられる炊き込みご飯レシピ」を決定した。

¹ 圧力効果と温度効果について：加熱調理で生成するアクリルアミドは、アスパラギンと還元糖のメイラード反応に伴って生成することが知られている。専用装置を用いた過去の研究では、モデル的なメイラード反応に対する圧力効果は、初期の結合生成反応（アミノカルボニル反応）に対しては全くないか僅かに抑制的であり、また、その後の重合による褐色化反応に対しては抑制効果があるとされている。これらの効果は化学反応の遷移状態の活性錯合体と原系の部分モル体積の差（ $\Delta V_{\ddagger}$ ）がほとんど変わらない（ $\Delta V_{\ddagger} \sim 0$ 、圧力効果なし）か、正の値（ $\Delta V_{\ddagger} > 0$ 、圧力により抑制）を取っていることを示している。しかし、このような純粋な圧力効果が明確に観測されるのは、数百 MPa の超高压下であり、家庭用圧力鍋の最高圧力はその 1/1000 以下である。また、タンパクの変性についても同様に圧力効果が顕在化するのは数百 MPa である。一方、家庭用調理器具の市販圧力鍋ではリリース弁機能を持たせたオモリ等での密閉状態で水を沸騰させることで、大気圧＋最大 146 kPa の圧力を達成しているため、圧力単体の効果ではなく加圧下の沸点上昇による温度効果を伴っている。温度は機器の設定圧力により異なるが、概ね 110～128℃であり常圧の沸点 100℃との差は 10～28℃である。家庭での圧力調理で期待される調理時間の短縮や食材の物性変化や、調理に伴う様々な化学反応への効果については、百数十 kPa の圧力増加と 10～30℃弱の温度上昇の効果を分けて比較すると、後者で述べた温度効果が圧倒的に大きく、圧力はその温度を与えるための手段に過ぎないものと考えられる。しかし、家庭用の圧力鍋では、調理者が実際の調理手順で意識するのは圧力設定であることから、本報告書では、アクリルアミド生成の直接の要因として、圧力よりも温度効果が大きいと考えられる場合についても、調理する者の視点から「圧力調理」の効果として記載している。

² 白飯と炊き込みご飯には、同じロットの玄米を家庭用精米機で精米して用いた（精米歩留まり：91.1%）。

³ 沸騰後の熱源出力を今回の試験で比較した他社製品よりも強くすれば最高圧を維持するものと思われたが、加熱条件が大きく変わってしまうため白米と炊き込みご飯では除外した。

1. 一般的な炊き込みご飯の材料

具 材：米、ごぼう、にんじん、油揚げ、鶏肉（もも肉が多数派。他に鶏むね肉。）、
こんにゃく、きのこ類（「干ししいたけ」が多数派。他に生しいたけ、干ししいたけ、しめじなど）

調味料：しょうゆ（「こいくち」が多数派。他にうすくちしょうゆ。）、酒、食塩
（他にだし汁、砂糖、みりんを使うレシピもある。）

2. 一般的な炊き込みご飯の調理法

全ての材料を下煮せずに炊飯器に投入して炊飯する。

（37 レシピのうち、下煮を行うものは 9 レシピであった。）

3. 炊き込みごはんレシピ収集

合計 37 レシピを収集した。内訳は以下のとおりである。調理学・調理実習の教科書から 12 レシピ収集した。そのうち、「一般的な炊き込みご飯」に相当するのは 11 レシピであった。認知度の高い料理番組として、NHK「きょうの料理」、朝日放送「上沼恵美子のおしゃべりクッキング」、日本テレビ「キューピー3 分クッキング」を選び、それぞれのホームページに掲載されているレシピデータの検索により、それぞれ 6 レシピ、2 レシピ、5 レシピを収集した。そのうち、「一般的な炊き込みご飯」に相当するのはそれぞれ 1 レシピ、1 レシピ、2 レシピであった。認知度の高い食品メーカーが公表している炊き込みご飯のレシピとして、第一三共株式会社、キューピー株式会社、キッコーマン株式会社がホームページで公表しているレシピから、計 12 レシピを収集したが、「一般的な炊き込みご飯」に相当するものはなかった。著名な料理研究家が公表している炊き込みご飯のレシピとして、辰巳芳子氏の 1 レシピを書籍から収集し、これは「一般的な炊き込みご飯」に相当した。

4. 一般的な炊き込みご飯の調理法を踏まえた、「アクリルアミドが生成しやすいと考えられる炊き込みご飯レシピ」の決定

収集したレシピから、「一般的な炊き込みご飯」に相当するものをピックアップし、一部の素材については「読み替え」を行い（こいくちしょうゆ→うすくちしょうゆ、生しいたけ→干ししいたけ など）、平均使用量を求めた。この平均使用量をベースに、アクリルアミドの生成要因となり得るごぼう¹とみりん²を含むレシピで実験条件を設定した。

参考（食品成分表より）：

塩分（こいくちしょうゆ 16.0%、うすくちしょうゆ 14.5%）

水分（生しいたけ 91.0%、ぶなしめじ 90.8%、干ししいたけ 9.7%）

¹ 過去の調査において、炒め調理でアクリルアミドが生成することを確認している。

² 還元糖を含む

表1-3 炊き込みご飯のレシピの分量を、米 100 g あたりに換算したもの(表中単位:g)

	出典	レシピ名	米	ごぼう	にんじん	油揚げ	鶏肉	こんにゃく	干ししいたけ	濃口しょうゆ	食塩	酒	みりん	備考
1	基礎献立と調理 ケイ・アイコーポ レーション	かやくご飯	100	16	14	6	0	0	5	4.1	0.8	16	0	だし汁 使用
2	女子栄養大学の お料理入門 女子栄養大学出 版部	五目炊き込 みご飯	100	17	17	10	33	0	1.7	6	0.6	5	0	
3	女子栄養大学の 毎日おかず 女子栄養大学出 版部	ごぼうの炊 き込みご飯	100	33	0	5	0	0	0.6	12	0	10	6	
4	調理学実習 熊谷印刷出版部	炊き込みご 飯	100	13	10	4	21	0	1	7.5	0.6	6	0	
5	最新調理 朝倉書店	炊き込み五 目ごはん	100	9	8	5	20	13	0.8	10	0	3	3	だし汁 使用
6	これからの調理 理工学社	たきこみ飯	100	8	8	3	17	8	0.8	10	0	10	0	
7	基礎から学ぶ調 理学 理工学社	炊き込みご 飯	100	8	8	3	17	8	0.8	10	0	10	0	
8	これからの調理 実習 理工学社	炊き込みご 飯	100	8	8	3	17	8	0.8	11	0	10	0	
9	基礎調理実習 化学同人	炊き込みご 飯(五目飯)	100	6	6	5	15	0	2	10	0	8	0	
10	新調理学実習 同文書院	五目炊き込 みご飯	100	6	6	4	13	13	0	6	0.75	6	5	
11	NHK みんなの きょうの料理	五目ご飯	100	29	29	7	33	0	2	15	0	0	5	だし汁 使用
12	"朝日放送 上沼恵美子のお しゃべりクッキ ング"	鶏とごぼう の炊き込み ごはん	100	27	10	4	43	0	0	12	1	0	12	だし汁 使用
13	"朝日放送 上沼恵美子のお しゃべりクッキ ング"	炊き込みご はん	100	18	13	0	44	0	0	11	0.3	2.2	5	だし汁 使用
14	キューピー3分 クッキング	かやくごは ん	100	18	18	11	0	11	2	4	1.3	10	8	
15	辰巳芳子の展開 料理 ソニー・マガジ ンズ	かやくご飯	100	15	6	5	0	0	1	6	0.6	9	0	だし汁 使用
	平均使用量		100	15	11	5	18	4	1	9	0	7	3	

表1-4 玄米炊飯調理の調理条件

番号	鍋のタイプ	最高圧力	最高温度	その他条件	玄米ご飯				
					処理方法	加水量	仕上り重量	吸水量	蒸発量
①	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	水多め 卓上IHヒーター使用 (W数小)	圧力鍋 (加圧なし=常圧、水多め) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量315 g 卓上IHヒーター 目盛り7 (1400W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (150W) で20分加熱→10分蒸らし	315 g	378 g	228 g	87 g
②	圧力鍋A+内鍋 (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	内鍋使用	圧力鍋 (加圧なし=常圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量180 g、 内鍋使用 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で25分加熱→10分蒸らし	180 g	320 g	170 g	10 g
③	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C		圧力鍋 (加圧なし=常圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量275 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で20分加熱→10分蒸らし	275 g	284 g	134 g	141 g
④	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	卓上IHヒーター使用 (W数小)	圧力鍋 (加圧なし=常圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量275 g 卓上IHヒーター 目盛り7 (1400W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (150W) で25分加熱→10分蒸らし	275 g	378 g	228 g	47 g
⑤	電熱炊飯器 (マイコン式)	常圧 (0 kPaG)	100 °C		炊飯器 (常圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、炊飯器の1合の目盛りに合わせて加水→玄米モードで炊飯 (蒸らし工程を含む)	286 g	365 g	215 g	71 g
⑥	土鍋	常圧 (0 kPaG)	100 °C		土鍋 (常圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量340 g ガス火 目盛り4で沸騰まで加熱→目盛り2で2分加熱→目盛り1で24分加熱→10分蒸らし	340 g	395 g	245 g	95 g
⑦	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C	水多め	炊飯器 (加圧25kPaG)、水多め (おこげなし) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量422 g (炊飯器の目安量の1.25倍) 加水→玄米モードで炊飯 (蒸らし工程を含む)	422 g	409 g	259 g	163 g
⑧	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C		炊飯器 (加圧25kPaG) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、炊飯器の1合の目盛りに合わせて加水→玄米モードで炊飯 (蒸らし工程を含む)	354 g	352 g	202 g	152 g
⑨	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C	卓上IHヒーター使用 (W数小)	圧力鍋 (低圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量275 g 卓上IHヒーター 目盛り7 (1400W) で沸騰まで加熱→目盛り3 (260W) で20分加熱→10分蒸らし	275 g	329 g	179 g	96 g
⑩	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C		圧力鍋 (低圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量275 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で15分加熱→10分蒸らし	275 g	329 g	179 g	96 g
⑪	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C		圧力鍋 (高圧140kPaG) 圧力鍋Aメーカーのレシピ 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量275 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で15分加熱→10分蒸らし	275 g	334 g	184 g	91 g
⑫	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C	加圧時間短め (鍋メーカーレシピ)	圧力鍋 (高圧140kPaG) 圧力鍋Bメーカーの推奨レシピ 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量255 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で6分加熱→20分蒸らし ※食味悪い	255 g	354 g	204 g	51 g
⑬	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	水多め	圧力鍋 (高圧、水多め) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量315 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で15分加熱→10分蒸らし	315 g	396 g	246 g	69 g
⑭	圧力鍋A+内鍋 (高圧)	146 kPaG	128 °C	内鍋使用	圧力鍋 (高圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量180 g、 内鍋使用 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で20分加熱→10分蒸らし	180 g	310 g	160 g	20 g
⑮	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	沸騰後のW数大 加熱時間が短い 水少なめ					
⑯	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C		圧力鍋 (高圧) 玄米150 gを浸漬 (4°C、16h)、トータル加水量275 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で15分加熱→10分蒸らし	275 g	326 g	176 g	99 g

表1-5 白飯調理の調理条件

番号	鍋のタイプ	最高圧力	最高温度	その他条件	白飯				
					処理方法	加水量	仕上り重量	吸水量	蒸発量
①	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	水多め 卓上IHヒーター使用 (W数小)					
②	圧力鍋A+内鍋 (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	内鍋使用	圧力鍋 (加圧なし=常圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量140 g、 内鍋使用 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で8分加熱→10分蒸らし	140 g	286 g	136 g	4 g
③	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C		圧力鍋 (加圧なし=常圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量225 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で2分加熱→10分蒸らし	225 g	339 g	189 g	36 g
④	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	卓上IHヒーター使用 (W数小)					
⑤	電熱炊飯器 (マイコン式)	常圧 (0 kPaG)	100 °C		炊飯器 (常圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、炊飯器の1合の目盛りに合わせて加水 (トータル加水量216 g) →白米モードで炊飯 (蒸らし工程を含む)	216 g	312 g	162 g	54 g
⑥	土鍋	常圧 (0 kPaG)	100 °C		土鍋 (常圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量225 g ガス火 目盛り4で6分加熱 (沸騰) →目盛り1で5分加熱→10分蒸らし	225 g	330 g	180 g	45 g
⑦	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C	水多め					
⑧	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C		炊飯器 (加圧25kPaG) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、炊飯器の1合の目盛りに合わせて加水 (トータル加水量251 g) →炊き込みモードで炊飯 (蒸らし工程を含む)	251 g	337 g	187 g	64 g
⑨	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C	卓上IHヒーター使用 (W数小)	圧力鍋 (低圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量225 g 卓上IHヒーター 目盛り7 (1400W) で沸騰まで加熱→目盛り3 (260W) で1分加熱→10分蒸らし	225 g	348 g	198 g	27 g
⑩	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C		圧力鍋 (低圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量225 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で1分加熱→10分蒸らし	225 g	354 g	204 g	21 g
⑪	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C						
⑫	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C	加圧時間短め (鍋メーカーレシビ)					
⑬	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	水多め					
⑭	圧力鍋A+内鍋 (高圧)	146 kPaG	128 °C	内鍋使用	圧力鍋 (高圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量140 g、 内鍋使用 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で5分加熱→10分蒸らし	140 g	280 g	130 g	10 g
⑮	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	沸騰後のW数大 加熱時間が短い 水少なめ	圧力鍋 (高圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量215 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り3 (500W) で30秒加熱→10分蒸らし	215 g	339 g	189 g	26 g
⑯	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C		圧力鍋 (高圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量225 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で45秒加熱→10分蒸らし	225 g	354 g	204 g	21 g

表1-6 炊き込みご飯調理の調理条件

番号	鍋のタイプ	最高圧力	最高温度	その他条件	炊き込みご飯					
					処理方法	材料	加水量	仕上り重量	吸水量	蒸発量
①	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	水多め 卓上IHヒーター使用 (W数小)						
②	圧力鍋A+内鍋 (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	内鍋使用						
③	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C							
④	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	卓上IHヒーター使用 (W数小)						
⑤	電熱炊飯器 (マイコン式)	常圧 (0 kPaG)	100 °C		炊飯器 (常圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、炊飯器の1合の目盛りに合わせて加水し25mL除去→白米モードで炊飯 (蒸らし工程を含む)	精白米150g (副材料: ぎょうざ25 g、その他 (注))	286 g	312 g	81 g	205 g
⑥	土鍋	常圧 (0 kPaG)	100 °C		土鍋 (常圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量200 g ガス火 目盛り4で6分加熱 (沸騰) → 目盛り1で5分加熱→10分蒸らし	精白米150g (副材料: ぎょうざ25 g、その他 (注))	200 g	329 g	98 g	102 g
⑦	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C	水多め						
⑧	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C		炊飯器 (加圧25kPaG) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、炊飯器の1合の目盛りに合わせて加水し25mL除去→炊き込みモードで炊飯 (蒸らし工程を含む)	精白米150g (副材料: ぎょうざ25 g、その他 (注))	354 g	335 g	104 g	250 g
⑨	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C	卓上IHヒーター使用 (W数小)	圧力鍋 (低圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量200 g 卓上IHヒーター 目盛り7 (1400W) で沸騰まで加熱→目盛り3 (260W) で1分加熱→10分蒸らし	精白米150g (副材料: ぎょうざ25 g、その他 (注))	200 g	356 g	125 g	75 g
⑩	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C		圧力鍋 (低圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量200 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で1分加熱→10分蒸らし	精白米150g (副材料: ぎょうざ25 g、その他 (注))	200 g	362 g	131 g	69 g
⑪	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C							
⑫	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C	加圧時間短め (鍋メーカーレシビ)						
⑬	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	水多め						
⑭	圧力鍋A+内鍋 (高圧)	146 kPaG	128 °C	内鍋使用						
⑮	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	沸騰後のW数大 加熱時間が短い 水少なめ	圧力鍋 (高圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量190 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り3 (500W) で30秒加熱→10分蒸らし	精白米150g (副材料: ぎょうざ25 g、その他 (注))	190 g	336 g	105 g	85 g
⑯	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C		圧力鍋 (高圧) 白米150 gを浸漬 (常温、30分以上)、トータル加水量200 g 据え置きIHヒーター 目盛り7 (2000W) で沸騰まで加熱→目盛り2 (370W) で45秒加熱→10分蒸らし	精白米150g (副材料: ぎょうざ25 g、その他 (注))	200 g	355 g	124 g	76 g

表1-7 炊き込みご飯(ごぼう抜き)調理の調理条件

番号	鍋のタイプ	最高圧力	最高温度	その他条件	炊き込みご飯(ごぼう抜き)					
					処理方法	材料	加水量	仕上り重量	吸水量	蒸発量
①	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	水多め 卓上IHヒーター使用(W数小)						
②	圧力鍋A+内鍋 (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	内鍋使用						
③	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C							
④	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	卓上IHヒーター使用(W数小)						
⑤	電熱炊飯器 (マイコン式)	常圧 (0 kPaG)	100 °C		炊飯器(常圧) 白米150 gを浸漬(常温、30分以上)、総加水量191 g→白米モードで炊飯(蒸らし工程を含む)	精白米 150g (その他注)	191 g	318 g	102 g	89 g
⑥	土鍋	常圧 (0 kPaG)	100 °C		土鍋(常圧) 白米150 gを浸漬(常温、30分以上)、トータル加水量200 g ガス火 目盛り4で6分加熱(沸騰)→目盛り1で5分加熱→10分蒸らし	精白米 150g (その他注)	200 g	333 g	117 g	83 g
⑦	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C	水多め						
⑧	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C		炊飯器(加圧25kPaG) 白米150 gを浸漬(常温、30分以上)、総加水量226 g→炊き込みモードで炊飯(蒸らし工程を含む)	精白米 150g (その他注)	226 g	352 g	136 g	90 g
⑨	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C	卓上IHヒーター使用(W数小)	圧力鍋(低圧) 白米150 gを浸漬(常温、30分以上)、トータル加水量200 g 卓上IHヒーター 目盛り7(1400W)で沸騰まで加熱→目盛り3(260W)で1分加熱→10分蒸らし	精白米 150g (その他注)	200 g	357 g	141 g	59 g
⑩	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C		圧力鍋(低圧) 白米150 gを浸漬(常温、30分以上)、トータル加水量200 g 据え置きIHヒーター 目盛り7(2000W)で沸騰まで加熱→目盛り2(370W)で1分加熱→10分蒸らし	精白米 150g (その他注)	200 g	358 g	142 g	58 g
⑪	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C							
⑫	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C	加圧時間短め (鍋メーカーレシビ)						
⑬	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	水多め						
⑭	圧力鍋A+内鍋 (高圧)	146 kPaG	128 °C	内鍋使用						
⑮	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	沸騰後のW数大 加熱時間が短い 水少なめ	圧力鍋(高圧) 白米150 gを浸漬(常温、30分以上)、トータル加水量190 g 据え置きIHヒーター 目盛り7(2000W)で沸騰まで加熱→目盛り3(500W)で30秒加熱→10分蒸らし	精白米 150g (その他注)	190 g	334 g	118 g	72 g
⑯	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C		圧力鍋(高圧) 白米150 gを浸漬(常温、30分以上)、トータル加水量200 g 据え置きIHヒーター 目盛り7(2000W)で沸騰まで加熱→目盛り2(370W)で45秒加熱→10分蒸らし	精白米 150g (その他注)	200 g	353 g	137 g	63 g

表1-8 各種調理器具と圧力条件における炊飯調理品中のアクリルアミド濃度(n=4)

番号	鍋のタイプ	最高圧力	最高温度	その他条件	玄米ご飯	白飯	炊き込みご飯	炊き込みご飯 (ごぼう抜き)
					分析値 [μg/kg]	分析値 [μg/kg]	分析値 [μg/kg]	分析値 [μg/kg]
①	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	水多め 卓上IHヒーター 使用(W数小)	2.2			
					2.4			
					2.1			
					1.8			
②	圧力鍋A+内鍋 (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	内鍋使用	2.1	1.9		
					1.7	2.2		
					1.9	2.2		
					1.9	1.6		
③	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C		2.1	1.2		
					7.8	1.8		
					2.2	1.9		
					4.5	1.8		
④	圧力鍋A (加圧なし)	常圧 (0 kPaG)	100 °C	卓上IHヒーター 使用(W数小)	6.1			
					4.9			
					4.8			
					4.6			
⑤	電熱炊飯器 (マイコン式)	常圧 (0 kPaG)	100 °C		2.2	1.8	1.4 †	2.6 †
					1.7	1.5	1.5 †	2.4 †
					1.8	1.7	1.7 †	2.0 †
					1.6	1.6	1.7 †	2.0 †
⑥	土鍋	常圧 (0 kPaG)	100 °C		5.0	2.8	1.5 †	2.1 †
					5.8	2.0	1.7 †	2.6 †
					4.2	1.8	1.4 †	2.2 †
					3.2	1.8	2.5 †	1.9 †
⑦	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C	水多め	3.4			
					4.8			
					3.2			
					2.9			
⑧	IH炊飯器 (加圧機能付)	25 kPaG	106 °C		6.1	1.3	1.4 †	2.6 †
					8.3	1.7	1.5 †	2.2 †
					5.7	1.9	1.6 †	2.4 †
					4.7	1.5	1.5 †	2.3 †
⑨	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C	卓上IHヒーター 使用(W数小)	2.4	4.4	3.3 †	2.0 †
					2.0	1.9	3.2 †	2.2 †
					2.7	1.7	3.2 †	2.7 †
					2.3	3.6	2.9 †	2.2 †
⑩	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C		2.9	2.1	1.8 *	2.5 *
					2.7	1.2	1.4 *	2.7 *
					1.9	2.3	1.8 *	2.6 *
					2.0	1.4	1.9 *	2.5 *
⑪	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C		2.8			
					2.2			
					2.5			
					4.5			
⑫	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG	126 °C	加圧時間短め (鍋メーカーレシピ)	2.7			
					2.7			
					2.0			
					2.3			
⑬	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	水多め	2.3			
					2.1			
					3.3			
					2.4			
⑭	圧力鍋A+内鍋 (高圧)	146 kPaG	128 °C	内鍋使用	3.6	1.6		
					2.9	1.4		
					3.0	2.0		
					3.5	2.0		
⑮	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	沸騰後のW数大 加熱時間短い 水少なめ		2.6	3.6 †	1.5 †
						2.0	3.6 †	3.2 †
						4.8	3.6 †	3.4 †
						5.2	3.7 †	2.7 †
⑯	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C		5.2	2.2	2.0 *	1.7 *
					5.8	1.5	2.3 *	2.3 *
					5.7	1.9	1.9 *	1.9 *
					5.7	2.1	1.6 *	1.6 *

検出限界: 0.2(μg/kg)、定量下限: 0.5(μg/kg)。

†, †, *: 実施日(9/16, 10/19, 11/16)。副材料のロットが異なる。

【工程表②】

1. 各種炊飯条件における玄米ご飯の分析結果¹⁾について (図 1-2)

結果：同じ圧力鍋で加圧条件を 80 kPaG (⑩：低圧) と 146 kPaG (⑯：高圧) に変えて調理した比較では、高圧でアクリルアミドの生成が多くなった。しかし、同じ圧力鍋の常圧 (0 kPaG、③：常圧) は分析値が大きく振れて高圧 (146 kPaG) との差が検出されなかった。また、高圧と同等あるいはそれ以上の高濃度の分析値が常圧や低圧の試験区である IH 炊飯器 (最高 25 kPaG、⑧) や土鍋 (⑥) にも散見されたことから、玄米炊飯時のアクリルアミド生成には圧力調理と同等かそれ以上の寄与がある要因が少なくないことが示唆された (表 1-8：玄米ご飯 ③、⑤、⑥、⑧、⑩、⑪、⑯)。

炊飯時のアクリルアミド生成に影響し、今回、異なる調理器具の間に積極的にコントロールすることが困難であった要因として、鍋底でのおこげとともに生成するアクリルアミドがある。明確に焦げ色として認識されなくても鍋の内部でアクリルアミド濃度の局在を引き起こして、分析のサンプリング時の不均一性の要因にもなり^{2,3}、試験区によっては分析値のばらつきへの影響が大きかった可能性がある。圧力調理はおこげが生成する鍋底近傍の温度にも影響しているため、間接的におこげの生成を介してアクリルアミドの生成に影響を与えているが、他の要因と完全に分離して評価することは容易ではない。

アクリルアミド低減のために玄米の圧力調理を避けたとしても、アクリルアミドの生成量を増加させる他の要因がコントロールされないと、代替の調理法でより多くのアクリルアミドを生成させてしまう懸念がある。

¹ アクリルアミドの分析は外部分析機関に依頼し、湿重量あたりの分析値を得た。分析機関に対し、分析条件として、マトリクスを用いた試験室内妥当性確認を実施し、検出限界 0.5 µg/kg 以下、定量下限 1 µg/kg 以下を満たすことを義務づけており、繰り返し試験の再現性等から、上記検出限界／定量下限の条件を満たしていることを確認した。

² 分析のサンプリングは全体を鍋底からしゃもじで返しながら“均一”に混合して 50 g 以上を採取して行った。同一ロットからの複数回のサンプリングによる均一性の評価は行っていない。したがって、n=4 の反復では、サンプリングの不均一性と反復ロット間のばらつきの 2 つの要因を合わせて評価している。

³ (参考) 炊飯後の釜内部の部位別分析結果 (農研機構食品総合研究所、未発表データ、n=1)

玄米ご飯 玄米 150.00 g を洗米、水切り後、水道水 180 mL に約 16 時間浸漬。炊飯器で炊飯。蒸らし時間 30 分以上。仕上り 242.27 g。

分別分析結果：おこげ (米粒を含まず) 1.73 g (重量), 89 µg/kg (アクリルアミド濃度), 7.8 % (全体割合) / 釜底近傍 33.46 g, 30 µg/kg, 50.8 % / それ以外の部分 200.34 g, 82.7%, 4.1 µg/kg, 41.4% / 未回収 6.74 g (主にサンプリング中の水分蒸発)。

白飯 精白米 150.00 g を洗米、水切り後、水道水 180 mL に約 1 時間浸漬。玄米と同じ炊飯器で炊飯。蒸らし時間 30 分以上。仕上り 296.25g。

分別分析結果：おこげ (米粒を含まず) 1.05 g, 10.5 µg/kg, 9.4 % / 釜底近傍 53.06 g, 2.0 µg/kg, 90.6 % / それ以外の部分 231.44 g, 82.7%, ND, 0 % / 未回収 10.7 g (主にサンプリング中の水分蒸発)。

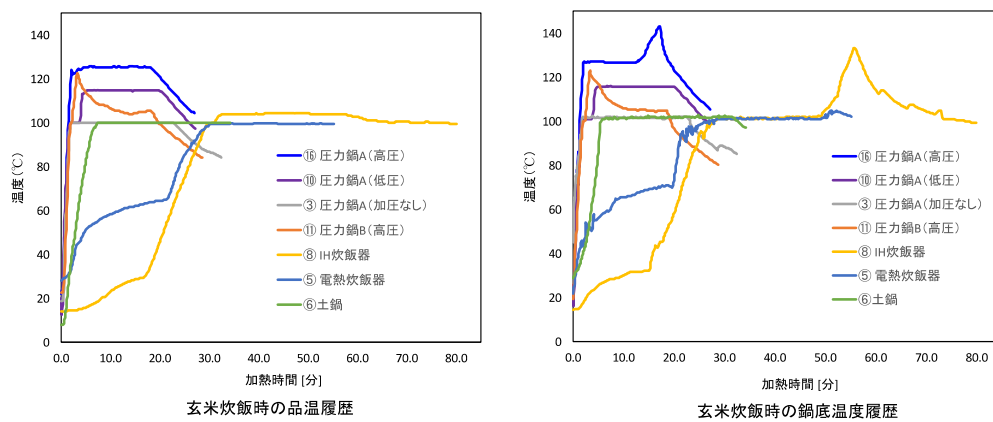
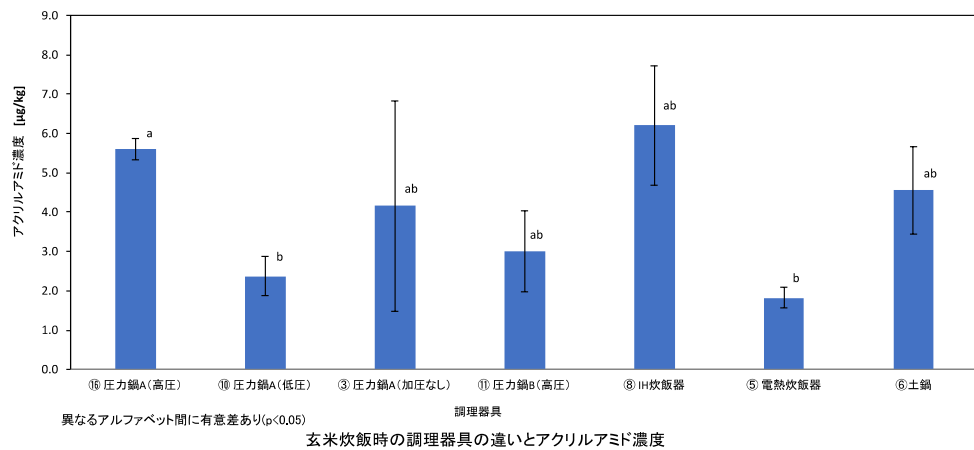


図1-2 各種調理器具と圧力条件で炊飯した玄米ご飯のアクリルアミド濃度(n=4、上段)と調理時の温度履歴(下段左:中心、下段右:鍋底)。(t検定で有意水準95%以上の差が認められたものにはp値を記載。)

2. 内鍋を用いた玄米炊飯の比較による圧力調理の影響の検証（図1-3）

結果：圧力調理（による高温）のアクリルアミド濃度への影響について、おこげの生成などの鍋底の熱源近傍のアクリルアミド生成要因と切り離して評価するため、内鍋を使って炊飯し、調理品のアクリルアミド濃度を比較した。その結果、高圧（146 kPaG）での調理品のアクリルアミド濃度が高かった（表1-8：玄米ご飯 ② vs ⑭）。また、品温が120℃を超えない常圧（0 kPaG）でもアクリルアミドが生成していた。

内鍋の有無によるアクリルアミド濃度の違いについても検討を行ったところ、平均値は常圧（0 kPaG）、高圧（146 kPaG）のいずれも内鍋使用の方が低く、鍋底でのアクリルアミド生成が大きな要因となっていることが示唆されたが、常圧では内鍋を使わない試験区のばらつきが大きく、統計学的な有意差を検出できなかった（図1-4、（表1-8：玄米ご飯 ② vs ③、⑭ vs ⑯）。

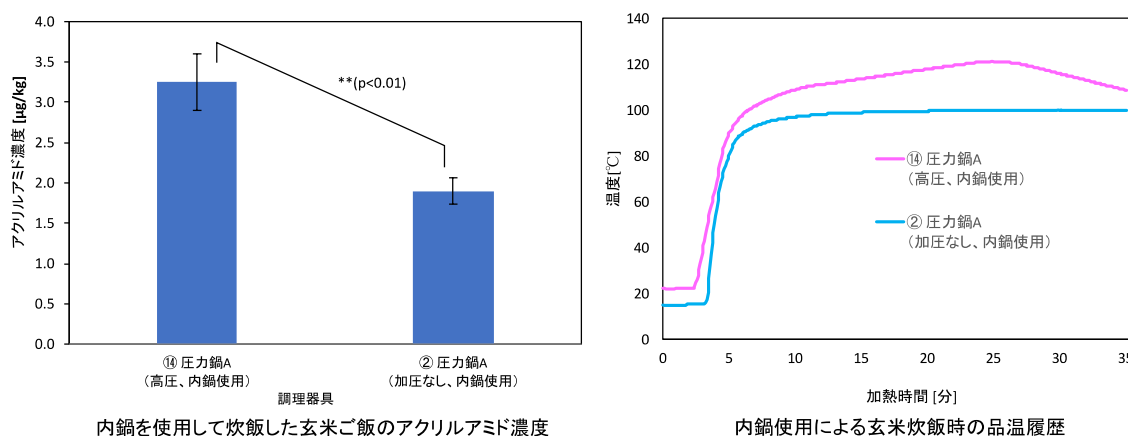
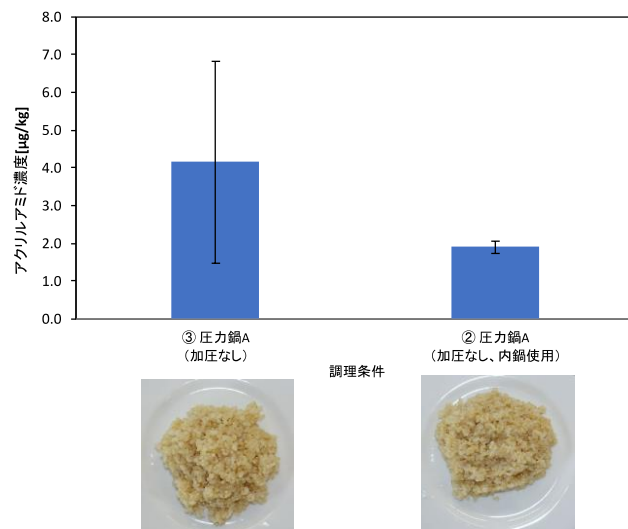
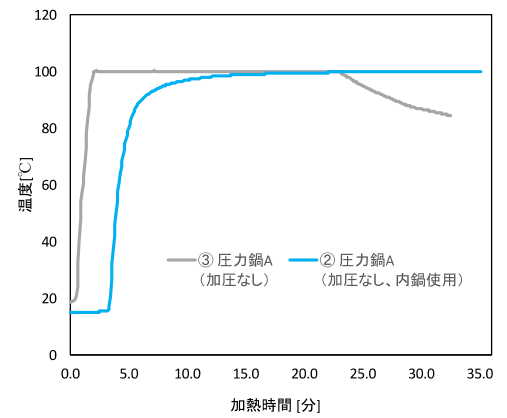


図1-3 内鍋を用いて常圧(0 kPaG)と高圧(146 kPaG)で炊飯した玄米ご飯のアクリルアミド濃度 (n=4、左)と調理時の温度履歴(右)。(t 検定で有意水準 95%以上の差が認められたものには p 値を記載。)

常圧: 0 kPaG

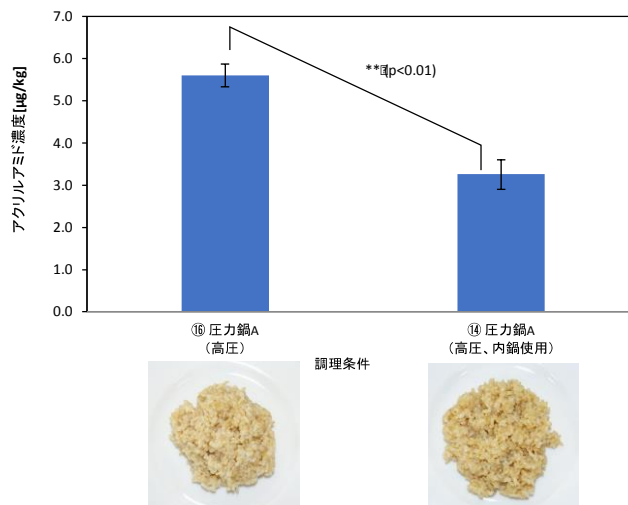


玄米炊飯時(常圧)の内鍋の有無とアクリルアミド濃度

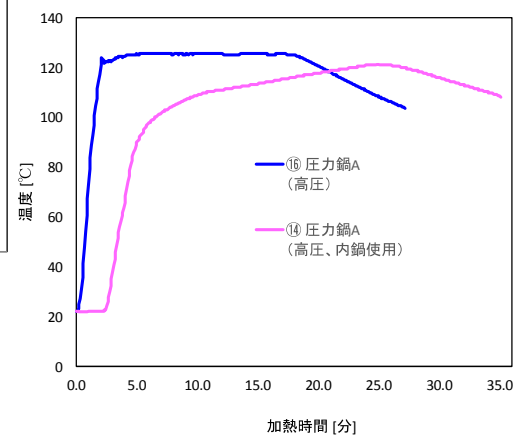


玄米炊飯時の品温履歴

高圧: 146 kPaG



玄米炊飯時(高圧)の内鍋の有無とアクリルアミド濃度



玄米炊飯時の品温履歴

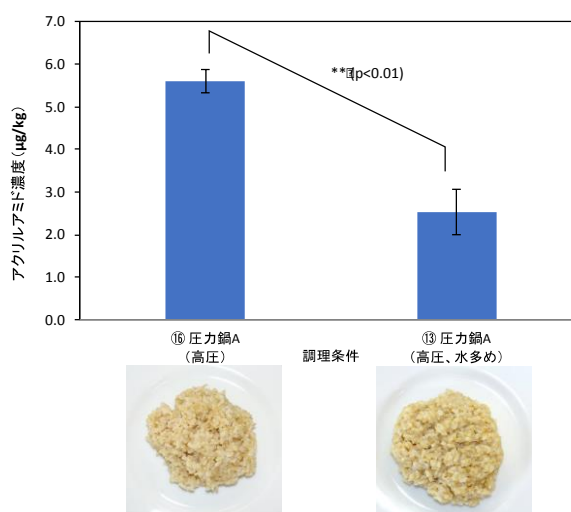
図1-4 内鍋使用の有無による玄米ご飯のアクリルアミド濃度(n=4)の違いと調理時の温度履歴(上段:常圧(0 kPaG)、下段:高圧(146 kPaG))。(t検定で有意水準 95%以上の差が認められたものには p 値を記載。)

3. 玄米炊飯における水の量の影響について（図1-5）

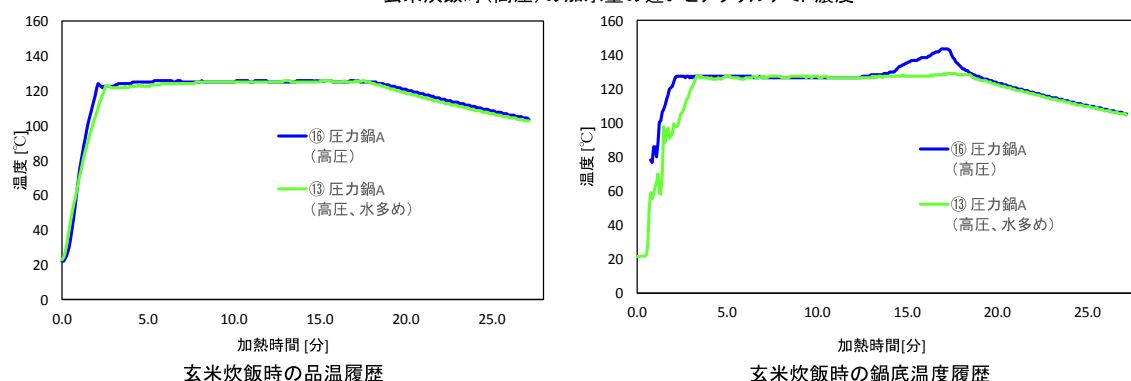
結果：炊飯時の水の量を増やした比較試験を行った結果、炊飯器調理、加圧調理を含むいずれの試験条件においても、水量が多い方でアクリルアミド濃度が低かった¹（表1-8：玄米ご飯 ① vs ④、⑦ vs ⑧、⑬ vs ⑯）。

今回の試験では、水量が増えたことで柔らかく炊き上がるなど、仕上がりの変化が生じていると考えられる。また、検討した水量の違いが2水準しかないため、水量をわずかでも増やせばそれなりの効果が期待できるのか、一定以上増やさないと効果が得られないのかについては、検証できていない。情報提供の方法や喫食者の嗜好の許容範囲について検討の余地が残されているものの、今後、玄米炊飯時におけるアクリルアミド生成量を積極的に減らす必要が出てきた場合に、有用な知見であると考えられる。

a) 高圧（146 kPaG）

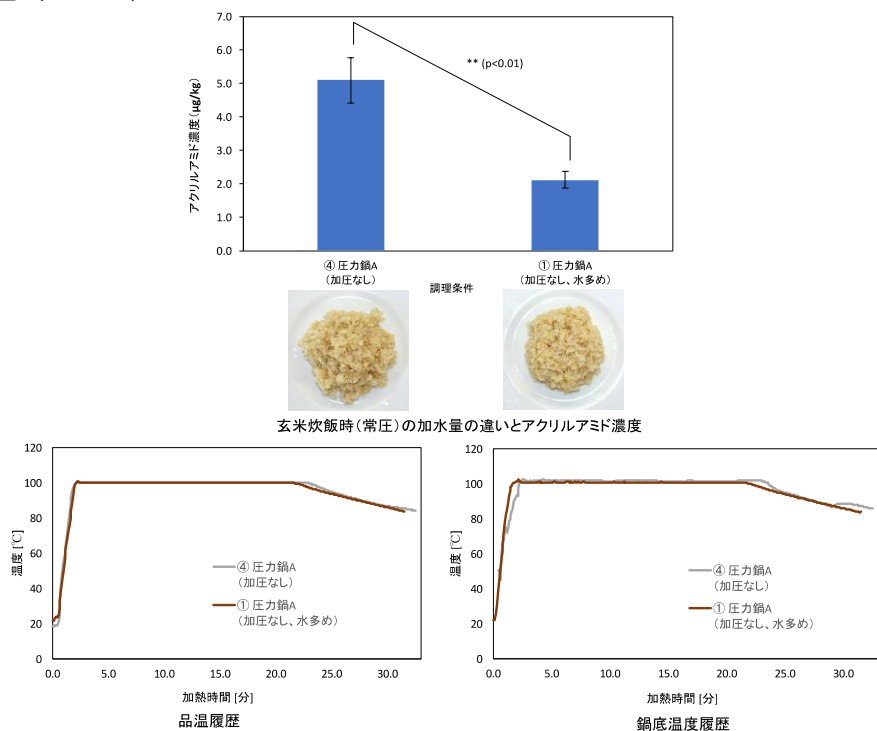


玄米炊飯時（高圧）の加水量の違いとアクリルアミド濃度



¹ 加水量を増やすと炊き上がりの重量が増えることを考慮して、同じ量の玄米から生成するアクリルアミド量（濃度×重量）として計算すると、31～44%の低減となっている。

b) 常圧 (0 kPaG)



c) IH 炊飯器 (最大 25 kPaG)

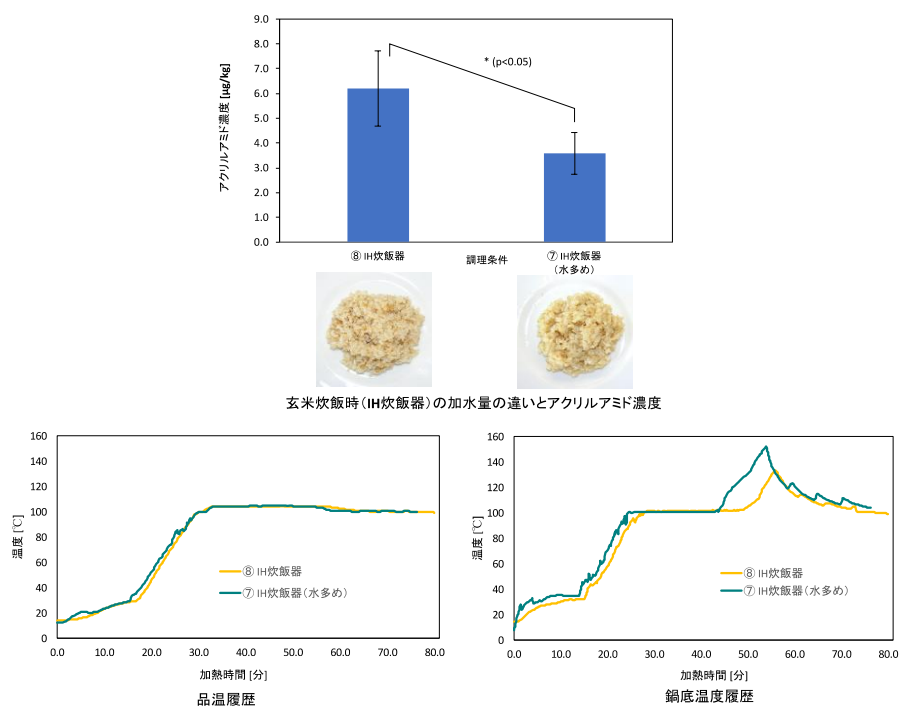
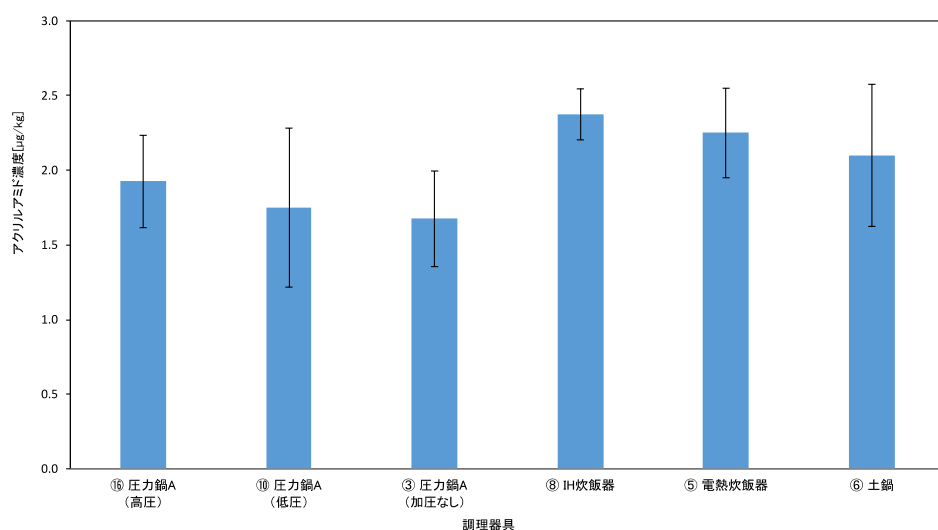


図1-5 加水量による玄米ご飯のアクリルアミド濃度(n=4)の違いと調理時の温度履歴(a: 高圧 (146 kPaG)、b: 常圧(0 kPaG)、c: IH 炊飯器(最大 25 kPaG))。(t 検定で有意水準 95%以上の差が認められたものには p 値を記載。)

4. 各種炊飯条件における白飯の分析結果について（図1-6）

結果：仕上がりが同等になるような調理条件で比較を行なったところ、調理器具の種類や圧力条件の違いによるアクリルアミドの生成に影響は見出されなかった（表1-8：白飯 ③、⑤、⑥、⑧、⑩、⑬）。

白飯においてもアクリルアミドの生成が見られた。しかし、玄米炊飯時に一部の炊飯条件間で見られた差が見られなかった理由として、1. 加圧下での調理時間が玄米に比べて非常に短いこと、2. 白米は玄米に比べてアクリルアミド前駆体であるアスパラギンの含量が少なくアクリルアミドが生成しにくいいため、アクリルアミド濃度に差が出にくいことなどが考えられる。



白飯炊飯時の調理器具の違いとアクリルアミド生成量

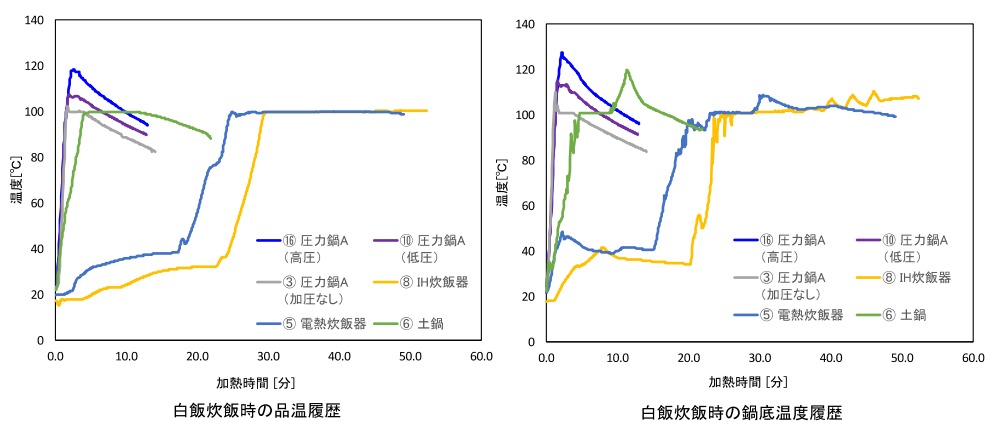


図1-6 各種調理器具と圧力条件で炊飯した白飯のアクリルアミド濃度(n=4、上段)と調理時の温度履歴(下段左：中心、下段右：鍋底)。(t検定で有意水準95%以上の差が認められたものにはp値を記載。)

¹ 鍋で炊飯時の沸騰（最高圧到達）後の加熱時間（炊飯器は装置の玄米と白米の選択メニューによる温度プログラムに従って実施）

玄米：15分（80, 140, 146 kPaG）、20分（0 kPaG）

白米：45秒（146 kPaG）、1分（80 kPaG）、2分（0 kPaG）

5. 内鍋を用いた白米炊飯の比較による圧力調理の影響の検証 (図1-7)

結果：圧力調理（による高温）のアクリルアミド濃度への影響について、おこげの生成などの鍋底の熱源近傍のアクリルアミド生成要因と切り離して評価するため、内鍋を使って炊飯し、白飯のアクリルアミド濃度を比較した。その結果、高圧（146 kPaG）と常圧（0 kPaG）で炊飯した白飯にアクリルアミド濃度の差はなかった（表1-8：白飯 ② vs ⑭）。また、品温が 120℃を超えない常圧でもアクリルアミドが生成していた。

アクリルアミドの生成が見られたものの、玄米のような明確な差が見られなかった理由として、前記と同様に 1. 加圧下での調理時間が玄米に比べて非常に短いこと、2. 白米は玄米に比べてアクリルアミド前駆体であるアスパラギンの含量が少なくアクリルアミドが生成しにくいいため、アクリルアミド濃度に差がでにくいことなどが考えられる。

また、内鍋の有無によるアクリルアミド濃度の違いについても検討を行ったところ、常圧（0 kPaG）、高圧（146 kPaG）炊飯条件いずれでも差は見られなかった（図1-8、表1-8：白飯 ② vs ③、⑭ vs ⑯）。

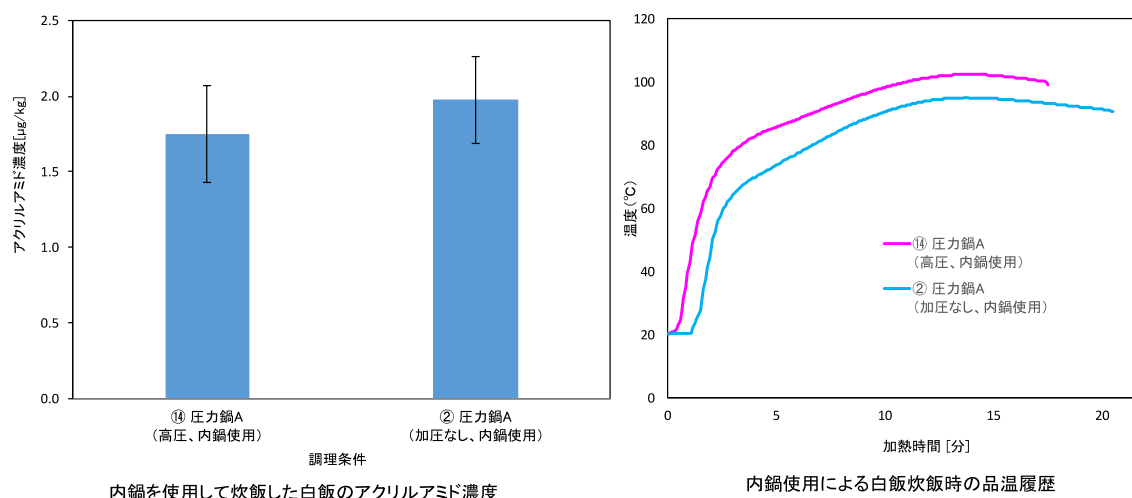
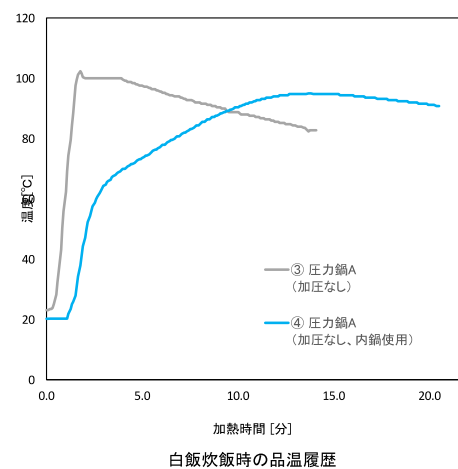
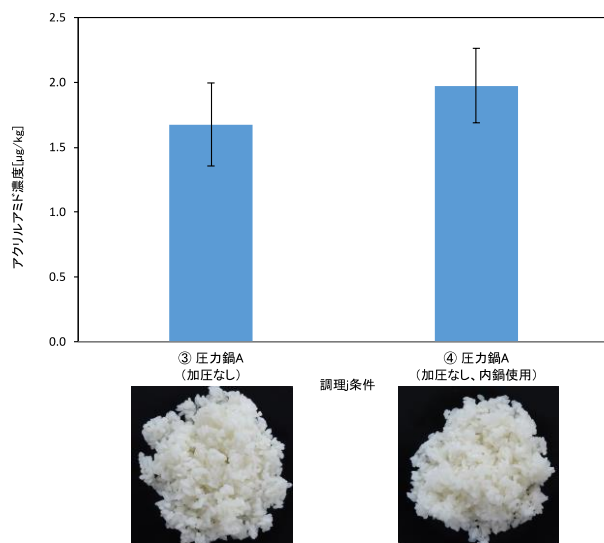


図1-7 内鍋を用いて常圧(0 kPaG)と高圧(146 kPaG)で炊飯した白飯のアクリルアミド濃度(n=4、左)と調理時の温度履歴(右)。(t検定で有意水準95%以上の差が認められたものにはp値を記載。)

¹ 内鍋を使用した炊飯時の沸騰（最高圧到達）後の加熱時間
玄米：20分（146 kPaG）、25分（0 kPaG）
白米：5分（146 kPaG）、8分（0 kPaG）

常圧: 0 kPaG



高压: 146 kPaG

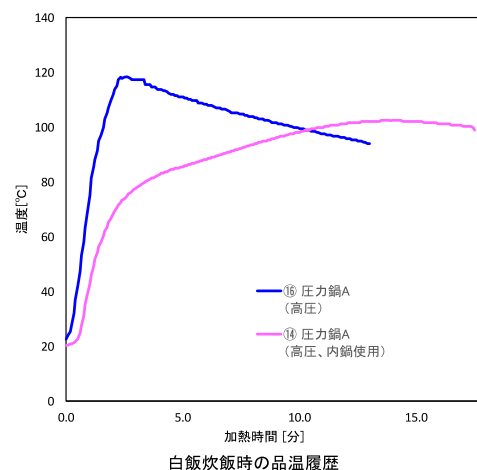
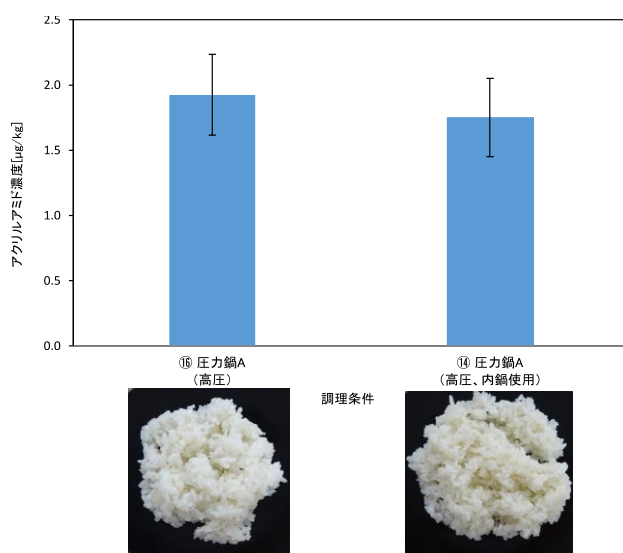


図1-8 内鍋使用の有無による白飯のアクリルアミド濃度(n=4)の違いと調理時の温度履歴(上段:常圧(0 kPaG)、下段:高压(146 kPaG))。(t検定で有意水準 95%以上の差が認められたものには p 値を記載。)

6. 各種炊飯条件における炊き込みご飯¹と白飯の分析結果の比較（図1-9）

結果：炊き込みご飯で副材料が入った状態のアクリルアミドの生成は、調理器具や熱源の条件が同等の白飯の値と比べて差は認められなかった（表1-8：白飯 vs 炊き込みご飯（⑤、⑥、⑧、⑨、⑩、⑮、⑯））。

副材料に由来すると考えられるアクリルアミド濃度の増加は認められなかった。沸騰後の加熱時間は白米と同じ条件を用いているため、鍋を用いた炊飯では、高压（146 kPa）で45秒、常圧（0 kPaG）で2分である。過去の炒め調理の結果から、今回用いた副材料の中で最もアクリルアミドの生成に影響すると考えられた材料はごぼうであるが、ほとんど影響がなかったものと考えられ、このことは後述の中課題2の試験結果とも矛盾しない²。

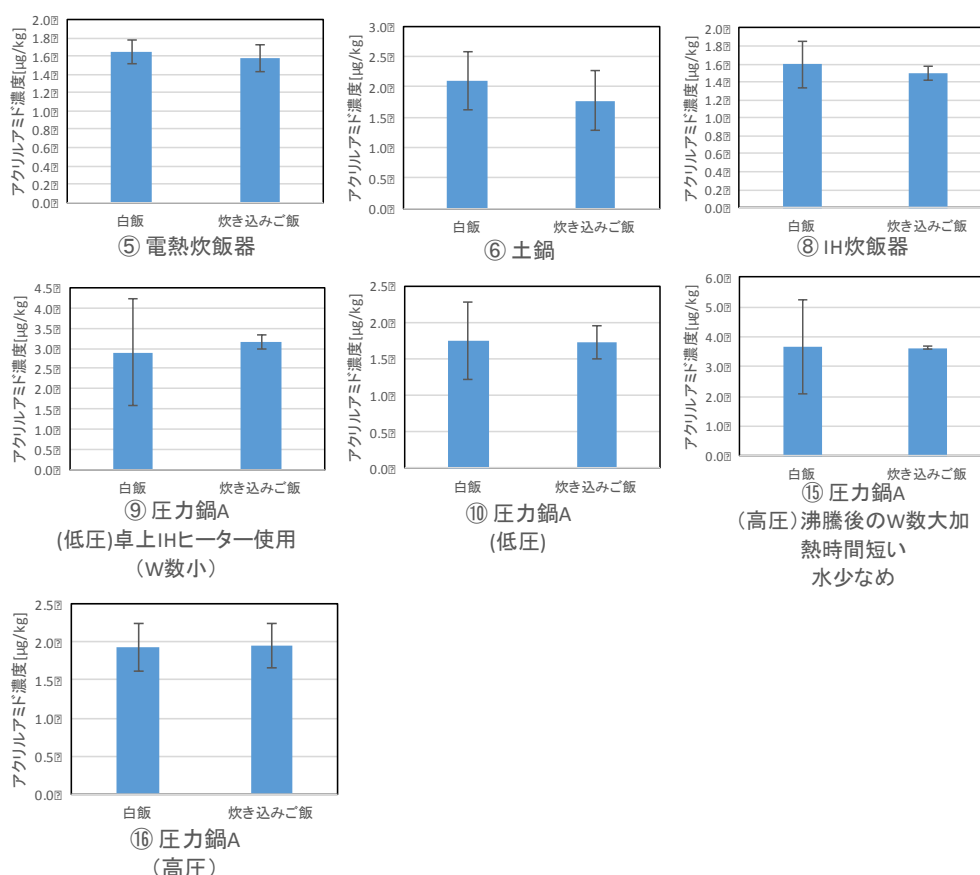


図1-9 各種炊飯条件における白飯と炊き込みご飯のアクリルアミド濃度の比較。(t 検定で有意水準 95%以上の差が認められたものには p 値を記載。)

¹ 表1-3の平均分量を参考に、アクリルアミド生成寄与が小さいと考えられるしいたけとこんにゃくを除いて材料と分量を決定。

使用材料：精白米 150 g、ごぼう 25 g、にんじん 15 g、油揚げ 10 g、鶏もも肉 30 g、濃口醤油 11 mL、酒 10 mL、みりん 4 mL、水量 191～226 g。

炊飯後重量：392～442 g

² ごぼうの加圧調理でのアクリルアミドの生成は高压(146 kPa)で2分以下、常圧(0 kPaG)で10分以下であれば、定量下限値 (5 μg/kg) 未満 (表2-2)。ごぼう単体での数値であるため炊き込みご飯での寄与はさらに小さくなる。

7. 炊き込みご飯のごぼうの有無による分析結果の比較 (図 1-10)

結果：ごぼうを含む場合と含まない場合で、調理器具や熱源の条件が同等のもの同士の 7 対のペアで比較すると、差がないものが 3 ペア、ごぼう抜きが低いもの 1 ペア、ごぼう抜きが高いもの 3 ペアとなり、一定の傾向が認められなかった (表 1-8 : 炊き込みご飯 vs 炊き込みご飯 (ごぼう抜き) (⑤、⑥、⑧、⑨、⑩、⑮、⑯))。

副材料であるごぼうは、炒め調理で生成するアクリルアミドの量が野菜の中では相対的に多いと考えられている。そこで、副材料からごぼうを抜いた試験を行ったところ、アクリルアミドの分析値が下がったもの (⑨)、上がったもの (⑤、⑧、⑩) が認められた。146 kPa の高圧条件では差が認められなかった (⑮、⑯)。副材料のロットが同じ 2 つのペアで比較すると、ごぼう抜きで分析値が上がったものが 1 件 (⑩)、差がないものが 1 件 (⑯) であった。

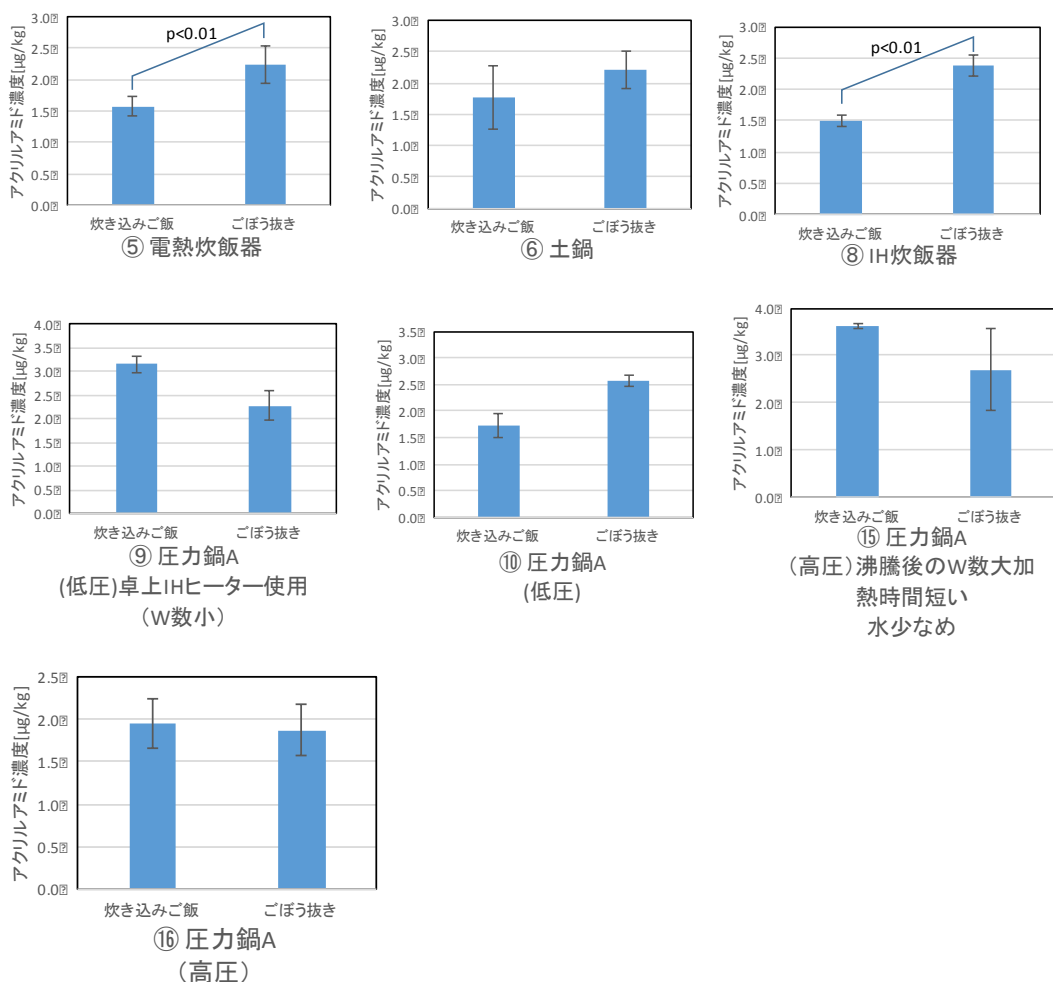


図1-10 各種炊飯条件における炊き込みご飯のごぼうの有無とアクリルアミド濃度の比較。(t 検定で有意水準 95%以上の差が認められたものには p 値を記載。)

8. 炊飯米を通じたアクリルアミドの摂取量について

結果：本研究で試験した炊飯米からは、加圧調理以外の条件を含む全ての調理条件でアクリルアミドを検出（検出限界 0.2 µg/kg）しており、その濃度は、食品安全委員会が取りまとめた日本人のアクリルアミド推計摂取量の積算根拠となった炊飯米の分析値（0.59 µg/kg）よりも高い値（反復平均で最も低いものでも 1.6 µg/kg）であった（p17、表 1-8）。

食品安全委員会の点推計による摂取量推計¹では、炊飯米の寄与を通じたアクリルアミドの摂取量は

$$\begin{aligned} & \text{アクリルアミド濃度平均値 (0.59 ng/g)} \times \text{全体の平均摂取量 (6.6 g/kg-bw/day)} \\ & \qquad \qquad \qquad = \text{アクリルアミド摂取量 : 3.9 ng/kg-bw/day} \end{aligned}$$

と計算されている。（これは、アクリルアミドの食品全体からの摂取量（240 ng/kg-bw/day）のうち約 1.6%を占めている。）

この推計の根拠となっているのが、吉田ら（2011）の論文で示されている IH 炊飯器を用いて白米を炊飯した時のアクリルアミド濃度のデータ²である。

本試験では、炊飯時の加圧による影響を確認するための参照データとして、常圧や通常の炊飯器による炊飯米中のアクリルアミド濃度も多く取得したが、それらの分析値は、いずれも吉田ら（2011）が報告した炊飯米のアクリルアミド濃度を上回った。

本試験で得られた炊飯米（白米）中のアクリルアミド濃度（反復平均）1.6–3.7 ng/g³に上記の平均摂取量：6.6 g/kg-bw/day を乗じると、炊飯米を通じたアクリルアミドの摂取量は 10.6–24.1 ng/kg-bw/day と推計された。（この場合、アクリルアミドの全体摂取量（246.7–260.2 ng/kg-bw/day）に対する割合は約 4.3–9.3%。）

3) 成果目標に対する達成状況

玄米炊飯、白飯炊飯、炊き込み炊飯の条件について、加圧下の炊飯調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価することができ、成果目標を達成した。

¹ 食品健康影響評価書「加熱時に生じるアクリルアミド」、平成 28 年 4 月、食品安全委員会、https://www.fsc.go.jp/osirase/acrylamide1.data/acrylamide_hyokasyo1.pdf

² 食品安全委員会が摂取量推計を委託した国立環境研究所の報告書では、現在における炊飯器の普及状況を考慮して、IH 真空圧力炊き炊飯器で炊飯した精白米中のアクリルアミド濃度の測定結果を採用したとある。

吉田らの論文については、p8 の脚注 1 参照。

³ 丸め誤差の蓄積を避けるため以下の平均摂取量の計算では、四捨五入前の 1.60–3.65 ng/g を使用。

(2) 中課題2 (食品の加圧調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響の分析・評価) の研究成果の概要

1) 工程管理及び成果目標

工程表
① 炒め調理において高濃度でアクリルアミドを生成することが知られている野菜品目等について、調味料等を用いないモデル調理条件での圧力調理を行なって調理品中のアクリルアミド濃度を分析¹し、加圧調理の影響について調査する。(小課題1 関連)。 ↓ ② 小課題1 のモデル調理の結果を踏まえて、調味料や副材料を用いた実際の圧力調理レシピから、アクリルアミドを多く生成する可能性のあるものを抽出・整理する。(小課題2 関連)。 ↓ ③ 小課題2 で検討した調理メニューについて、優先順位をつけながら実際の調理を行い、調理品のアクリルアミド濃度を分析し、加圧下での調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価する。また、調理条件の違いによりアクリルアミド濃度が異なるケースが見出された調理メニューについて簡単な食味評価を行い、喫食者にとって受容可能と考えられる低減助言の内容を検討する。(小課題3 関連)。
成果目標: 炊飯以外の食品について加圧下の調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価する。

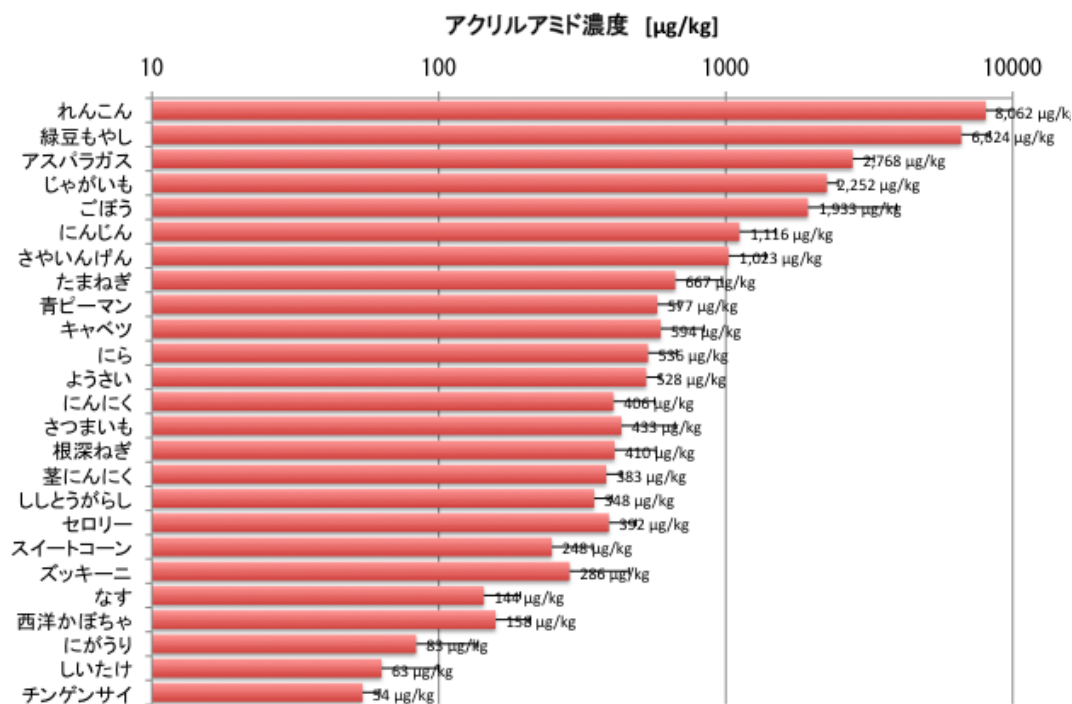
¹ アクリルアミドの分析は外部分析機関に依頼し、湿重量あたりの分析値を得た。分析機関に対し、分析条件として、マトリクスを用いた試験室内妥当性確認を実施し、検出限界 2 µg/kg、定量下限 5 µg/kg を満たすことを義務づけており、繰り返し試験の再現性等から、上記検出限界/定量下限の条件を満たしていることを確認した。

2) 各工程の進捗状況及び成果

【工程表①】

炒め調理で生成するアクリルアミドの量が他の野菜と比べて相対的に多いと考えられる品目¹のうち、調理方法として、煮る機会が多いと考えられるものとして、ごぼう、れんこん、じゃがいもを選択した。調味料等を使用しないモデル調理として水煮（一部蒸し調理も実施）を行い、調理品中のアクリルアミドを分析し、アクリルアミド生成への影響を調べることにした（表 2-1：ごぼう水煮、れんこん水煮、じゃがいも水煮）。

¹ http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/regulatory_science/pdf/2501-1.pdf
レギュラトリーサイエンス新技術開発事業 研究実績報告書、課題番号 2501「高温加熱により生成する有害化学物質を低減した調理法の評価・検証」、平成 27 年 3 月



野菜等 25 品目の炒め調理品の分析結果。都内の複数のスーパーマーケットから出来るだけ異なるロットを購入し、実施可能な範囲でロット間のばらつきをできるだけ含むように実施した。食用可能な範囲で出来るだけ強い加熱条件となるように予熱したホットプレート（設定温度 200℃）に材料の 5%程度の食用油を引いた上で、5 点以上の調理を行い、5 点を分析した。

表2-1 野菜の圧力調理の実施内容(n=4)

課題	調理内容	実験 記号	圧力(ゲージ圧) [kPa] 水の沸点温度 [°C]	非常に高い (125～129°C)	高い (120～124°C)	普通 (115～119°C)	低い (110～114°C)	非常に低い (105～109°C)	常圧 (100°C)	説明	試料 点数
中 課 題 2 そ の 他 調 理	モデル調理	2-1	ごぼう水煮(加圧10分)水分多	⑬		⑤			0	n=4で実施 炒め調理でアクリルアミド濃度が上がったごぼうで、圧力調理のアクリ ルアミド生成への影響の有無を検討 蒸しごぼうは熱源に近い鍋底での生成物とを切り分けのため食材が鍋 底に触れないように実施 1cm×3cmの斜め切り、水晒し後調理、熱源はPH(卓上)使用。 「水分多」は食材：水＝1:1(シチューや汁を想定) 「水分少」は食材：水＝1:0.3(通常の煮物を想定) 鍋からの蒸気(加圧)を確認後、一定時間加熱、10分余熱調理後、サン プリング。	56点
			ごぼう水煮(加圧10分)水分少	⑭	⑨	⑦・P1			②		
			ごぼう水煮(加圧5分)水分少	⑫		⑥・P1			①		
			ごぼう水煮(加圧2分)水分少	⑪							
			ごぼう水煮(加圧0分)水分少	⑩							
		2-2	蒸しごぼう(加圧10分)	⑬							
			れんこん水煮(加圧10分)水分少	⑭	⑨	⑥・P1	③		①	1cmの輪切り、水晒し後調理 ごぼうでの結果は、146kPaG(128°C)での加圧5分で定量化限界ぎり ぎりだったため、当初設定の5分までの検討では、圧力(温度)、 時間の効果を定量的な比較ができなくなる懸念があるため、ごぼ うと同じ加圧時間10分での比較を加える。通常の加圧調理条件 は概ね5分未満。	32点
			れんこん水煮(加圧5分)水分少	⑫							
			れんこん水煮(加圧2分)水分少	⑪							
			蒸しれんこん(加圧10分)	⑬						通常の加圧調理条件では、丸ごと調理の場合は10分も範囲内。	
カ レ ー ・ シ チ ュー	2-3		じゃがいも水煮(加圧10分)水分少	⑭	⑨	⑥・P1	③		①	肉、たまねぎ、ジャガイモ、にんじん、油を用いた。 固形ルウを使用するレシピを決定し、ルウを加える前の状態まで加熱。 (炒めー水を加えるー煮込む(加圧or常圧)) 炒め工程は低減レシピとして弱火、頻繁な攪拌を行う。 注)140 kPaGの鍋は、条件を揃えた弱火にすると一旦上がった圧力が 低下することが判明したため、取りやめ。 ラットウイユは野菜調理品の分析値が低かったため、取りやめ。	32点
			じゃがいも水煮(加圧5分)水分少	⑫							
カ レ ー ・ シ チ ュー	2-4		じゃがいも水煮(加圧2分)水分少	⑪							
			蒸しじゃがいも(加圧10分)	⑬							
カ レ ー ・ シ チ ュー	2-4		固形ルウを加える前まで	⑭	注	⑥・P1			①		12点

調理手順：ごぼう

実施日：H28/7/26-27

I. 試料調整

1. ごぼうの使用量を計測
2. たわしを使いごぼうを洗淨
3. ペーパータオルで水気をふき取る
4. 3 cmの切り口、厚さ1 cmの斜め切りに切裁
5. 純使用量、本数を計測
6. 回転鍋でかき混ぜ試料の均一化をする
7. 実験単位に袋に計量 (100%水量：450 g、30%水量：700 g)
8. ごぼうの10倍量の水 (100%水量：4.5 L、30%水量：7 L) で水さらし5分
9. ザルであけ、ペーパータオルで水気をふき取り袋に入れる

II. 加熱

1. 鍋に測定条件を設定した温度計を設置する。
2. 鍋を秤に乗せゼロ合わせを行いごぼうを入れ、ごぼう+水 (100%-900 g、30%-910 g) に水を入れて調整
3. 加熱前水温を計測し、蓋をし鍋込全体重量を計測
4. 強火 (7) で加熱開始
5. 沸騰後火を弱め設定した条件で加熱継続する (0, 2, 5, 10 分、詳細は表 2-1 参照)。
6. 消火後
圧力鍋 A: 作業台に鍋をおろし自然放置、圧力が下がった時の時間を記録 (ストップウォッチ表示)
圧力鍋 C: 水冷を開始時、圧力が下がった時の時間を記録 (ストップウォッチ表示)
* 細かな手順の違いは圧力鍋メーカーの取扱説明に従ったため。
7. 常圧後に鍋込全体重量、加熱後水温、ごぼう・水重量の計測
8. 写真を撮り、サンプル重量を計測後、急速冷凍

調理手順：れんこん

実施日：H28/10/20-21

I. 試料調整

1. れんこんの使用量を計測
2. 廃棄部分 (節・根等) を切裁
3. 純使用量、本数を計測
4. 厚さ1 cmの輪切りに切裁
5. 4つのザルに切裁したれんこんを偏らないように入れ分ける
6. 実験単位ごとに一つのボールより試料を調整し、試料の均一化をする
7. 実験単位に袋に計量 (30%水量：700 g)
8. 試料の10倍量の水 (30%水量：7 L) で水さらし5分
9. ザルであけ、ペーパータオルで水気をふき取り袋に入れる

II. 加熱

1. 鍋に測定条件を設定した温度計を設置する。(温度測定象のみ)
2. 1の鍋を秤に乗せゼロ合わせを行いごぼうを入れ、試料+水 (30%-910 g) に水を入れて調整
3. 蓋をし鍋込全体重量を計測
4. 強火 (7) で加熱開始 (圧力鍋 B のみ初めの1分間は中火 (5)、その後強火 (7))
5. 沸騰後火を弱め (圧力鍋 A - 中火 4、圧力鍋 C - 弱火 3) それぞれ (10 分) 加熱継続する
6. 消火後
圧力鍋 A: 作業台に鍋をおろし自然放置、圧力が下がった時の時間を記録 (ストップウォッチ表示)
圧力鍋 C: 水冷を開始時、圧力が下がった時の時間を記録 (ストップウォッチ表示)
* 細かな手順の違いは圧力鍋メーカーの取扱説明に従ったため。
7. 常圧後に鍋込全体重量、試料・水重量の計測
8. サンプル重量を計測後、急速冷却後、冷凍 (写真撮影対象は撮影)

調理手順：じゃがいも

実施日：H28/9/14

使用品種：男爵

I. 試料調製

1. じゃがいもの使用量を計測
2. さっと洗浄
3. ペーパータオルで水気をふき取る
4. 皮をむき 1/2 に切裁
5. 切裁した、じゃがいもは 1 つの個体を A 群・B 群とし、根と頭側を A/B 交互になるように振り分け
6. 実験単位ごとに一つの群より試料を調整し、1 つの個体（根と頭側両方）が入らないように調整する
7. 実験単位に袋に計量、個数を計測（30% 水量：700 g）
8. 試料の 10 倍量の水（30% 水量：7 L）で水さらし 5 分
9. ザルであけ、ペーパータオルで水気をふき取り袋に入れる

II. 加熱

1. 鍋に測定条件を設定した温度計を設置する（温度測定対象のみ）。
2. 1 の鍋を秤に乗せゼロ合わせを行いごぼうを入れ、試料+水（30%-910 g）に水を入れて調整
3. 蓋をし鍋込全体重量を計測
4. 強火（7）で加熱開始（圧力鍋 B のみ初めの 1 分間は中火（5）、その後強火（7））
5. 沸騰後火を弱め（圧力鍋 A - 中火 4、圧力鍋 C - 弱火 3）それぞれ（10 分）加熱継続する
6. 消火後
圧力鍋 A：作業台に鍋をおろし自然放置、圧力が下がった時の時間を記録（ストップウォッチ表示）
圧力鍋 C：水冷を開始時、圧力が下がった時の時間を記録（ストップウォッチ表示）
* 細かな手順の違いは圧力鍋メーカーの取扱説明に従ったため。
7. 常圧後に鍋込全体重量、試料・水重量の計測
8. サンプル重量を計測後、急速冷却後、冷凍（写真撮影対象は撮影）

調理手順：カレー（ルーを加える前まで）

実施日：H29/1/12-13

材料：

品目	量
豚肉（肩肉）2 cm 角切り	3.5 kg
玉ねぎ	5 kg
じゃがいも	5 kg
人参	3 kg
キャノーラ油	600 g

I. 試料調製

1. 材料の使用量を計測
2. さっと洗浄後ペーパータオルで水分ふき取り
3. 玉ねぎ：2 cm のくし切り、じゃがいも：半分に切ったものを 6 等分のイチョウ切り（切裁後さっと水洗いとし水さらしは行わない）、にんじん：1/4 に切り長辺 2 cm の乱切り（肉：2 cm 角切りを購入）
4. 各材料を容器内で混ぜ、均一化した上で試料を計量（肉：150 g、玉ねぎ：200 g、じゃがいも：150 g、にんじん：100 g）
5. 袋に 1 実験毎に野菜を入れる、肉は単独で袋に入れる
6. 水を 300 g 計量する
7. フライパンに油（12 g）を計量、肉を入れて炒め前鍋込み重量を計測

II. 加熱

1. 肉を 2 分間炒めた後、野菜を投入し 3 分炒める。（中火 5）
2. 炒め後フライパン込み重量を計測
3. 鍋に測定条件を設定した温度計を設置する（温度測定対象のみ）。
4. 2 のフライパン中の炒めた具材をゴムベラで鍋に移し、さらにフライパンに計量した水を投入して残った炒め具材をゴムベラで落としながら鍋に入れ蓋をし、煮込み加熱前鍋込み重量を計測
5. 強火（7）で加熱開始
6. 沸騰後火を弱め（中火 4）それぞれ（10 分）加熱継続する
7. 消火後
圧力鍋 A：作業台に鍋をおろし自然放置、圧力が下がった時の時間を記録（ストップウォッチ表示）
8. 常圧後に鍋込全体重量の計測
9. サンプル重量を計測後、急速冷却後、冷凍（写真撮影対象は撮影）

表2-2 各種調理器具と圧力条件における野菜調理品中のアクリルアミド濃度 (n=4)

番号	鍋のタイプ	最高圧力	温度	加水量 (煮汁)	加圧 時間	ごぼう水煮	れんこん水煮	じゃがいも水煮	カレー(ルーを 加える前)	カレー(炒め終 わり)
						測定結果 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	測定結果 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	測定結果 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	測定結果 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	測定結果 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
①	鍋	常圧 (0 kPaG)	100 °C	30%	10分	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
						N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
						N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
						N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
②	鍋	常圧 (0 kPaG)	100 °C	100%	10分	N.D.				
						N.D.				
						N.D.				
						N.D.				
③	圧力鍋C (低圧)	45 kPaG	110 °C	100%	10分	N.D.	N.D.	N.D.		
						N.D.	N.D.	N.D.		
						N.D.	N.D.	N.D.		
						N.D.	N.D.	N.D.		
④	圧力鍋C (中圧)	70 kPaG	115 °C	30%	10分	(2)				
						(2)				
						(2)				
						N.D.				
⑤	圧力鍋C (中圧)	70 kPaG	115 °C	100%	10分	N.D.				
						(2)				
						N.D.				
						N.D.				
⑥	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C	30%	10分	(3)	28 (外れ値)	N.D.	N.D.	
						(3)	N.D.	N.D.	N.D.	
						N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
						(3)	(3)	N.D.	N.D.	
⑦	圧力鍋A (低圧)	80 kPaG	117 °C	100%	10分	N.D.				
						(2)				
						N.D.				
						N.D.				
⑧	圧力鍋C (高圧)	95 kPaG	119 °C	100%	10分	(2)				
						N.D.				
						N.D.				
						N.D.				
⑨	圧力鍋B (高圧)	140 kPaG 徐々に低下	126 °C 徐々に低下	30%	10分		(4)	N.D.		
							(4)	N.D.		
							(3)	N.D.		
							(2)	N.D.		
⑩	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	30%	0分	(2)				
						N.D.				
						N.D.				
						N.D.				
⑪	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	30%	2分	(3)	N.D.	N.D.		
						(3)	N.D.	N.D.		
						(3)	N.D.	N.D.		
						N.D.	(4)	N.D.		
⑫	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	30%	5分	5	9	N.D.		
						5	7	N.D.		
						5	7	N.D.		
						5	(4)	N.D.		
⑬	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	蒸し (30%)	10分	12	26	N.D.		
						9	20	N.D.		
						12	13	N.D.		
						12	30	N.D.		
⑭	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	30%	10分	10	25	N.D.	8	
						11	N.D.(外れ値)	(3)	6	
						10	26	(3)	6	
						13	28	(2)	8	
⑮	圧力鍋A (高圧)	146 kPaG	128 °C	100%	10分	8				
						9				
						10				
						9				

※N.D.は検出下限値未満の値である。

※検出限界: 2 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)、定量下限: 5 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

※検出限界以上、定量下限未満の値は括弧付きで示した。

1. 沸騰後10分間加熱したごぼう水煮のアクリルアミド濃度(表2-2、ごぼう水煮)

結果：146 kPaG(128℃)の高圧条件では5 µg/kg以上の分析定量値が得られた(ごぼう水煮：⑬～⑮)。95 kPaG(119℃)以下の条件では検出限界未満(<2 µg/kg)または定量下限未満(<5 µg/kg)であった(ごぼう水煮：①～⑧)。高温となる圧力調理は、モデル条件においてアクリルアミドの生成量に増加の影響を与え得ることが明らかとなった。

高圧条件(146 kPaG)では、水分量の異なる3つの条件(⑬：蒸し、⑭：30%、⑮：100%)を設定した。いずれの条件でも調理後のごぼうのアクリルアミド濃度は10 µg/kg程度だった。調理終了時で水分がなくなって焦げたり乾いたりすることはなかった。煮汁への溶出を考慮して調理前のごぼう重量あたりのアクリルアミド生成量を計算すると(表2-3)、蒸し条件(⑬)が30%水分量(⑭)に比べて有意に低かったが(t検定、p<0.05)、その差は極めて小さかった。また、他の条件の比較では有意差は認められなかった。蒸し条件の計算では、蒸し汁に移行したアクリルアミドの分析値がなく、除外されていることを考慮すれば、これら3条件において、ごぼうの仕込み量に対するアクリルアミド生成量は互いにほぼ同等と考えられる。玄米炊飯とは異なり、多水分条件が継続する水煮調理では、熱源に近い鍋肌近傍での影響は顕著ではないと考えられた。

表2-3 煮汁の割合が異なる条件でのアクリルアミド生成量

番号	煮汁の割合	仕込み量			煮汁			ごぼう			調理後AA 量合計	ごぼう仕込み量あたりの生成量		
		ごぼう	水	合計	AA濃度	重量	AA量	AA濃度	重量	AA量		生成量	平均	標準偏差
⑬	蒸し(0%)	700 g	210 g	910 g				12 µg/kg	578 g	6.9 µg	6.9 µg	9.9 µg/kg	9 µg/kg	1.30 µg/kg
								9 µg/kg	583 g	5.2 µg	5.2 µg	7.5 µg/kg		
								12 µg/kg	591 g	7.1 µg	7.1 µg	10.1 µg/kg		
								12 µg/kg	594 g	7.1 µg	7.1 µg	10.2 µg/kg		
⑭	30%	700 g	210 g	910 g	7 µg/kg	170 g	1.2 µg	10 µg/kg	616 g	6.2 µg	7.3 µg	10.5 µg/kg	12 µg/kg	1.45 µg/kg
					7 µg/kg	197 g	1.4 µg	11 µg/kg	611 g	6.7 µg	8.1 µg	11.6 µg/kg		
					8 µg/kg	149 g	1.2 µg	10 µg/kg	627 g	6.3 µg	7.5 µg	10.7 µg/kg		
					8 µg/kg	170 g	1.4 µg	13 µg/kg	630 g	8.2 µg	9.6 µg	13.6 µg/kg		
⑮	100%	450 g	450 g	900 g	2 µg/kg	371 g	0.7 µg	8 µg/kg	401 g	3.2 µg	3.9 µg	8.8 µg/kg	11 µg/kg	1.73 µg/kg
					5 µg/kg	388 g	1.9 µg	9 µg/kg	406 g	3.6 µg	5.6 µg	12.4 µg/kg		
					4 µg/kg	358 g	1.4 µg	10 µg/kg	415 g	4.2 µg	5.6 µg	12.4 µg/kg		
					3 µg/kg	376 g	1.1 µg	9 µg/kg	409 g	3.7 µg	4.8 µg	10.7 µg/kg		

検出限界(2 µg/kg)未満は2 µg/kgとして計算

2. 沸騰後の加熱時間が異なる高圧調理によるごぼう水煮のアクリルアミド濃度（表2-2、ごぼう水煮：⑩、⑪、⑫、⑭）

結果： 146 kPaG(128℃)の高圧条件で沸騰後の加熱時間が0分、2分、5分、10分の調理品のアクリルアミド分析値を比較したところ、加圧時間が長いほどアクリルアミド濃度の増加傾向が認められた。野菜の加圧調理の一般的な調理時間とされる2分以下では、すべて定量下限未満（<5 µg/kg）の濃度であり、定量値を与えた5分以上の加熱より低かった¹。

前記1で比較した10分間の調理時間は、常圧の調理時間に合わせたものである。146 kPaG(128℃)の高圧条件で、調理器具メーカーが推奨している加圧調理の調理時間は、10分間より短いため、本検討を行った。

¹ 定量下限未満の値が多いため、検出力は低下するものの確実な方法として、等分散を仮定しないノンパラメトリック手法による検定を行なった。Kruskal-Wallis 検定で群間の代表値に差があることを有意水準 5%で確認した（ $p=0.0031$ ）。次いで Steel-Dwass 法による多重比較を行なったところ、群間の差を検出できなかった（有意水準 5%）。0分と2分を同一群とみなして検定を行なったところ、0分+2分 vs 5分： $p=0.013$ 、5分 vs 10分： $p=0.035$ 、0分+2分 vs 10分： $p=0.015$ となり、危険率 5%で差が認められた。



① 水煮:鍋/0 kPaG/100°C/30%/10 分



⑤ 水煮:圧力鍋 C/70 kPaG/115°C/100%/10 分



② 水煮:鍋/0 kPaG/100°C/100%/10 分



⑥ 水煮:圧力鍋 A/80 kPaG/117°C/30%/10 分



③ 水煮:圧力鍋 C/45 kPaG/110°C/100%/10 分



⑦ 水煮:圧力鍋 A/80 kPaG/117°C/100%/10 分



④ 水煮:圧力鍋 C/70 kPaG/115°C/30%/10 分



⑧ 水煮:圧力鍋 C/95 kPaG/119°C/100%/10 分



⑩ 水煮: 圧力鍋 A / 146 kPaG / 128°C / 30% / 0 分



⑪ 水煮: 圧力鍋 A / 146 kPaG / 128°C / 30% / 2 分



⑫ 水煮: 圧力鍋 A / 146 kPaG / 128°C / 30% / 5 分



⑮ 水煮: 圧力鍋 A / 146 kPaG / 128°C / 100% / 10 分



⑭ 水煮: 圧力鍋 A / 146 kPaG / 128°C / 30% / 10 分



⑬ 蒸し: 圧力鍋 A / 146 kPaG / 128°C / 30% / 10 分

図2-1 調理を行なったごぼうの写真。丸数字は表2-2の調理条件と対応。

3. 沸騰後 10 分間加熱したれんこん水煮のアクリルアミド濃度（表 2-2、れんこん水煮：①、③、⑥、⑨、⑬、⑭）

結果：146 kPaG(128℃)の高圧条件で 5 µg/kg 以上の分析定量値が得られた（れんこん水煮：⑬、⑭）。140 kPaG（126℃）以下の条件では検出限界未満（<2 µg/kg）または定量下限未満（<5 µg/kg）であった（れんこん水煮：①、③、⑥、⑨）。高温となる圧力調理は、モデル条件においてアクリルアミドの生成量に増加の影響を与え得ることが明らかとなった。なお、外れ値が検出されたため、除外して解釈した¹。

高圧条件（146 kPaG）では蒸し調理と水分量 30%の 2 つの条件を設定した。いずれの条件でもアクリルアミド濃度は 20～30 µg/kg 程度だった。ごぼうよりも高い値であり、これは、炒め調理でのアクリルアミド濃度がごぼうよりもれんこんが高かったことと符合する。ごぼうのモデル調理と同様に、10 分間の調理時間の設定は、常圧の調理時間に合わせたもので、推奨される実際の加圧調理時間はより短い。なお、140 kPaG の圧力鍋において、データロガーによる内部の温度履歴を確認したところ、最高圧に達した後に熱源出力を弱めて加熱を続けたところ、内部温度が徐々に下がっていた。

検出された最も高い濃度であっても、30 µg/kg であり、れんこんの炒め調理時に生成する数値の数百～数千分の 1 以下の値であった。

4. 沸騰後の加熱時間が異なる高圧調理によるれんこん水煮のアクリルアミド濃度（表 2-2、れんこん水煮：⑪、⑫、⑭）

結果：146 kPaG(128℃)の高圧条件で沸騰後の加熱時間が 2 分、5 分、10 分の調理品のアクリルアミド分析値を比較したところ²、加圧時間が長いほどアクリルアミド濃度の増加傾向が認められた。野菜の加圧調理の一般的な調理時間とされる 2 分以下は、すべて定量下限未満（<5 µg/kg）の濃度であり、定量値を与えた 5 分以上の加熱より低かった。

高圧で加熱時間が長いものほどアクリルアミド濃度が高くなる傾向が認められた。ただし、市販されている最も高圧タイプの圧力鍋で 5 分以上の加熱条件としないと、定量下限（5 µg/kg）を上回ることにはなかった。また、検出された最も高い濃度であっても、30 µg/kg であり、れんこんの炒め調理時に生成する数値の数百～数千分の 1 以下の値であった。

¹ スミルノフ・グラブス検定により⑥の 28 µg/kg (p<0.01)、⑭の N.D.(2 µg/kg として検定、p<0.025)を除外。試料の取違えの可能性。

² 外れ値を除外して反復が少なくなり、順位和を用いたノンパラメトリック手法による検定が困難となったため、検出限界以下の分析値を 2 µg/kg として、一元配置分散分析と Tukey の多重検定により確認。



① 水煮: 鍋／0 kPaG／100℃／30％／10 分



⑪ 水煮: 圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／30％／2 分



③ 水煮: 圧力鍋 C／45 kPaG／110℃／30％／10 分



⑫ 水煮: 圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／30％／5 分



⑥ 水煮: 圧力鍋 A／80 kPaG／117℃／30％／10 分



⑬ 蒸し: 圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／30％／10 分



⑨ 水煮: 圧力鍋 B／140 kPaG／126℃／30％／10 分



⑭ 水煮: 圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／30％／10 分

図2-2 調理を行なったれんこんの写真。丸数字は表2-2の調理条件と対応。

5. じゃがいもの圧力鍋調理（表 2-2、じゃがいも水煮）

結果：検討した全ての条件において検出限界未満（<2 $\mu\text{g/kg}$ ）または定量下限未満（<5 $\mu\text{g/kg}$ ）であった。



① 水煮：鍋／0 kPaG／100℃／30％／10 分



⑪ 水煮：圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／30％／2 分



③ 水煮：圧力鍋 C／45 kPaG／110℃／30％／10 分



⑫ 水煮：圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／30％／5 分



⑥ 水煮：圧力鍋 A／80 kPaG／117℃／30％／10 分



⑬ 蒸し：圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／30％／10 分



⑨ 水煮：圧力鍋 B／140 kPaG／126℃／30％／10 分



⑭ 水煮：圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／30％／10 分

図2-3 調理を行なったじゃがいもの写真。丸数字は表2-2の調理条件と対応。

【工程表②】

小課題1の結果では、供試した野菜の加圧調理において、加圧調理の影響が認められたものの、炒め調理のようなアクリルアミドの顕著な生成は見られなかった。小課題2のモデル調理では、野菜の加圧調理の候補として、カレー（シチュー）とラタトゥイユを検討したが、上記の結果から加圧調理工程におけるアクリルアミドの生成量はいずれも非常に小さくなることが予想された。そのため、摂食量の多いカレーについて、最も高い圧力（146 kPaG）と低い圧力（80 kPaG）、常圧（0 kPaG）の3水準を設定し、炒め工程でのサンプリングも行なって、調理中のアクリルアミド生成における圧力調理工程のみの寄与が明確になるように計画して実施することとした。

【工程表③】

1. カレー（ルー投入前の加圧による煮込みまで）の圧力鍋調理（表 2-2、カレー）

結果：市販されている最も高圧タイプの圧力鍋で最高圧で 10 分加熱した後に、最大 8 $\mu\text{g/kg}$ の生成が認められた。

煮込み前の炒めの調理工程では、農水省のリーフレットを参考にアクリルアミド低減条件を設定¹して調理した結果、炒め上がり段階でのアクリルアミド濃度は検出限界未満（<2 $\mu\text{g/kg}$ ）だった。したがって、煮込み工程の加圧調理で生成したアクリルアミドの寄与が大きいことが示唆された。



① 炒め：フライパン／0 kPaG／100℃／0%／0 分



⑥ 水煮：圧力鍋 A／80 kPaG／117℃／50%／10 分



① 水煮：鍋／0 kPaG／100℃／50%／10 分



⑭ 水煮：圧力鍋 A／146 kPaG／128℃／50%／10 分

図2-4 カレーのルーを加える前までの調理を行なった写真。丸数字は表2-2の調理条件と対応。

¹ 弱い火力で短時間の炒め条件を考慮し、予熱なしの中火（700 W、IH ヒーター使用、100 V、1400 W の製品の 7 段階の火力の 5 番目）で肉を 2 分間炒めた後、同じ出力のまま野菜を加えてよく攪拌しながらさらに 3 分炒めた。同じ食材でより強い炒め条件で調理した場合との比較は行っていない。

野菜の圧力鍋調理におけるアクリルアミド低減対策について

本中課題の野菜等¹の検討において、5 µg/kg（本中課題で実施した分析の定量下限）以上の濃度でアクリルアミドが検出された調理品は、いずれも最高圧（146 kPaG）で5分以上の加熱・加圧を行っていた。次の2点を考慮すれば、通常の家内における野菜の加圧加熱調理であれば、アクリルアミドの生成は2 µg/kg（本中課題で実施した分析の検出限界）未満か、多くても5 µg/kg未満に収まるものと見られる。

- ① 圧力鍋メーカーの取扱説明や参考レシピによると、野菜調理の推奨加熱時間は、最高圧力到達後、ほとんどの品目で2分以下であること
- ② 本課題で選んだ品目は、過去の炒め調理での試験結果で高濃度のアクリルアミドが生成した品目であること（表1-8）

肉などの長時間の加圧加熱を要する食材と一緒に調理する場合には、その食材の標準的な加圧時間よりも長くなることもあり得るものの、アクリルアミドを多く生成する食材が組み合わされる調理品に限れば、そのような調理頻度は低いものと考えられる。

上述の検討から、野菜類の家内での加圧調理では、炒め調理に比べてアクリルアミドはほとんど生成しないか、低い濃度に留まるため、加圧調理を避けるなどの特段の対応は必要ないと結論される。そのため、工程表③で計画した調理条件の違いによる食味評価と低減助言の検討は実施しなかった。また、積極的な低減助言には当たらないが、調理器具の説明書や参考レシピ等に従って、

- 1) 加圧調理をする際は調理時間を長くしすぎない、
- 2) 適宜、低い設定圧力を選択して使用する、

ことが、アクリルアミド生成の低減に有効であり、また、光熱量の節約や食材の風味を損なわないという観点からも取り組みやすく理にかなったものと考えられる。

3) 成果目標に対する達成状況

炊飯以外の食品として、炒め調理時にアクリルアミドを相対的に多く生成する野菜について検討し、加圧下の調理がアクリルアミドの生成に及ぼす影響を分析・評価することができ、成果目標を達成した。

5 研究成果の発表（主要な論文、取得した（申請中）の特許等を記述）

別紙の（3）～（8）のとおり

6 目的の達成に当たっての現時点での問題点等

本課題の全ての目標を達成した。

¹ ごぼう、れんこん、じゃがいも、カレー（ルーを加える前まで：じゃがいも、玉ねぎ、人参）

研究推進会議の開催状況、研究成果の発表(論文、特許等)等

試験研究課題名	加圧調理がアクリルアミド生成に及ぼす影響の検証
---------	-------------------------

課題番号	(1) 研究推進会議等開催回数	(2) 行政が活用している成果の有無	(3) 学術論文数		(4) 口頭発表回数		(5) 出版図書数	(6) 国内特許権等数		(7) 国際特許権等数		(8) 報道件数	物品購入の有無
			和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得		
2801	4	有											有

(1) 研究推進会議等の開催実績

区分: ①推進会議、②現地検討会、③その他

区分	推進会議の名称	年月日	開催場所	参加者数	消費・安全局担当官の出席有無	主な議題及び決定事項
③	研究推進に関するコンソメンターによる打ち合わせ	2016/5/26	女子栄養大学短期大学部	3	無	調理器具や試験計画、実験スケジュール等について具体的な調整を行なった。
③	外部委員との打ち合わせ	2016/6/15	川崎市役所	4	有(1名)	外部委員の川崎市豊田氏に研究背景等について説明を行った。
①	第1回推進会議	2016/6/28	農林水産省	14	有(5名)	研究計画を説明し、途中の結果を確認して優先順位をつけて対象を取捨しながら調理と分析を進めることとなった。
①	第2回推進会議	2017/3/14	農林水産省	13	有(5名)	H28 年度の研究内容と結果について情報共有を行った。炊飯米、その他(野菜)の加圧調理のいずれについても圧力調理(による高温)によるアクリルアミド生成量の増加が認められたが、いずれの品目についても圧力調理に関して消費者へ具体的な低減のための取り組みを求める必要はないものと結論された。

(2) 行政が活用しうる成果

区分: ①行政がすでに活用した成果、②行政が活用する目途がたった成果

区分	成果の内容	主な利用場面	活用状況	機関名
②	家庭炊飯における圧力調理のアクリルアミド生成への影響が殆どないか僅かであり、調理器具の種類や炊飯時の水量など、その他の影響に比べて顕著ではなく、消費者への特段の取り組みを求める必要はないことを明らかにした。	消費者から行政へ問い合わせがあった際の情報提供		農研機構 女子栄養大学短期大学部 東京家政学院大学
②	白飯と炊き込みご飯の炊飯調理時に生じるアクリルアミド濃度に差が認められないことを明らかにした。	消費者から行政へ問い合わせがあった際の情報提供		農研機構 女子栄養大学短期大学部 東京家政学院大学
②	炊飯時の水を多めにするとアクリルアミド濃度が減少する知見を得た。	消費者から行政へ問い合わせがあった際の情報提供		農研機構 女子栄養大学短期大学部 東京家政学院大学
②	炊飯以外(野菜)の圧力調理時のアクリルアミド生成への影響が殆どないか僅かであり、調理器具の消費者への特段の取り組みを求める必要はないことを明らかにした。	消費者から行政へ問い合わせがあった際の情報提供		農研機構 女子栄養大学短期大学部 東京家政学院大学

(3) 学術論文

タイトル、著者名、学会誌名、巻、ページ、発行年月	機関名

(4)口頭発表

タイトル、発表者名、学会等名、発表年月	機関名

(5)出版図書

区分:①出版著書、②雑誌、③年報、④広報誌、⑤その他

区分	著書名、(タイトル)、著者名、出版社名、発行年月	機関名

(6)国内特許権等

特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	機関名

(7)国際特許権等

特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	機関名

(8)報道件数

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映

区分	記事等の名称	掲載紙・放送社名	年月日	機関名	備考