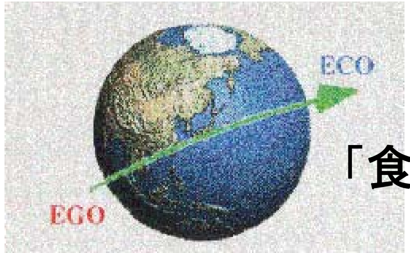


「第52回近畿アグリハイテクシンポジウム」平成22年11月16日

「食品加工の新技術:生産現場のイノベーションにむけて(4)」

過熱水蒸気とその利用:産学連携による「水で焼く」健康調理ヘルシオ開発とその応用展開について

100歩先の夢をもちながら半歩先に進もう

- はじめに
- 過熱水蒸気との出会いとヘルシオまで
- 過熱水蒸気のその後:6次産業を綜合産業へ
- 最後に

大阪府立大学大学院　生命環境科学研究科　生物資源循環工学G　宮武　和孝

背景-1

循環型社会の物の流れ

資源・材料 → 製品・商品 → **廃棄物**

エンタルピーを増加させる方向

↓ **処理**

これまでのマテリアルフロー

環境ホルモン、重金属

21世紀これからのマテリアルフロー

資源・材料

製品・商品

循環

循環型社会形成基本法（2000年5月制定）

廃棄物、**未利用資源**

エンタルピーを増加させない、減少させる方向

背景-2

LOHAS（Lifestyles of Health and Sustainabilityの略）とは、健康と環境を志向する新しいライフスタイル

- ポール・レイ博士は、1986年から15年間にわたり15万人を対象に調査をした結果、全米の大人の26%（5000万人）が、ある明確な志向を持った層であることを発見。それは、40年前にはほとんど見られなかった新しい価値観、世界観、ライフスタイル
- オーガニック食品、代替医療、ハーブ、ヨガ、太極拳、メディテーション、エコロジカルな住宅や製品、ガーデニングなど、LOHASに関連するさまざまな産業は全米で$226.8 BILLION, 日本円にして約27.3兆円の市場規模である。（2008年度）という巨大な市場

米LOHAS FORUM　2008より

背景-3 エコロジカル・フットプリント

消費する食料・繊維・木材の生産供給、そのための建設用地、その過程での化石燃料の燃焼で発生するCO2を吸収するために必要な耕作地・牧草地・森林・漁場など
を含む、生産力のある必要な地域の総面積で計算

（単位としてはgha：グローバルヘクタール）

6,906,624,967

7,778,820,576

	エコ・フットプリント (gha)	生物生産可能量	生産可能量の何倍？	地球何個分の暮らし？
世界平均	2.23	1.78	1.25	1.25個
アフリカ	1.1	1.3	0.85	0.62個
中近東・中央アジア	2.2	1.2	2.2	1.24個
アジア・太平洋	1.3	0.7	3.16	0.73個
ラテンアメリカ・カリブ海諸国	2.0	5.4	0.37	1.12個
北アメリカ	9.4	5.7	1.65	5.28個
ヨーロッパ (EU加盟)	4.8	2.2	2.18	2.70個
ヨーロッパ (EU非加盟)	3.8	3.8	4.6	2.13個
日本	4.4	0.7	6.29	2.47個

5E運動

2035年

100億人

Energy

Economy

Ecology

Education

Europe

(出展)2006 Living Planet Report　WWF

食の5段変化

- 望食（戦前）
- 豊食(高度成長期)
- 飽食(バブル崩壊までのグルメ時代)
- 崩食(バブル崩壊以降、現代)
- 亡食（現代から未来）

与えられた研究グループ：環境問題

ダイオキシン類や環境ホルモン類など

作らない処理プロセス

分解処理プロセス

定量・モニタープロセス

過熱水蒸気の歴史

- **過熱水蒸気そのものの発見は、Hausbrand, E. 1912年、Drying by Means of Air and Steam.**
- Lane A.M and S.Stern. Application of Superheated Vapor Atomspheres to drying., Mcehanical Engineering, 78, 423, 1956.
- **第34回Int. Conf. Environ. Systems., USA, 2004-01-2354(論文番号）閉鎖系での過熱水蒸気の多目的利用**

なぜ使うのか？
過熱水蒸気の環境負荷性

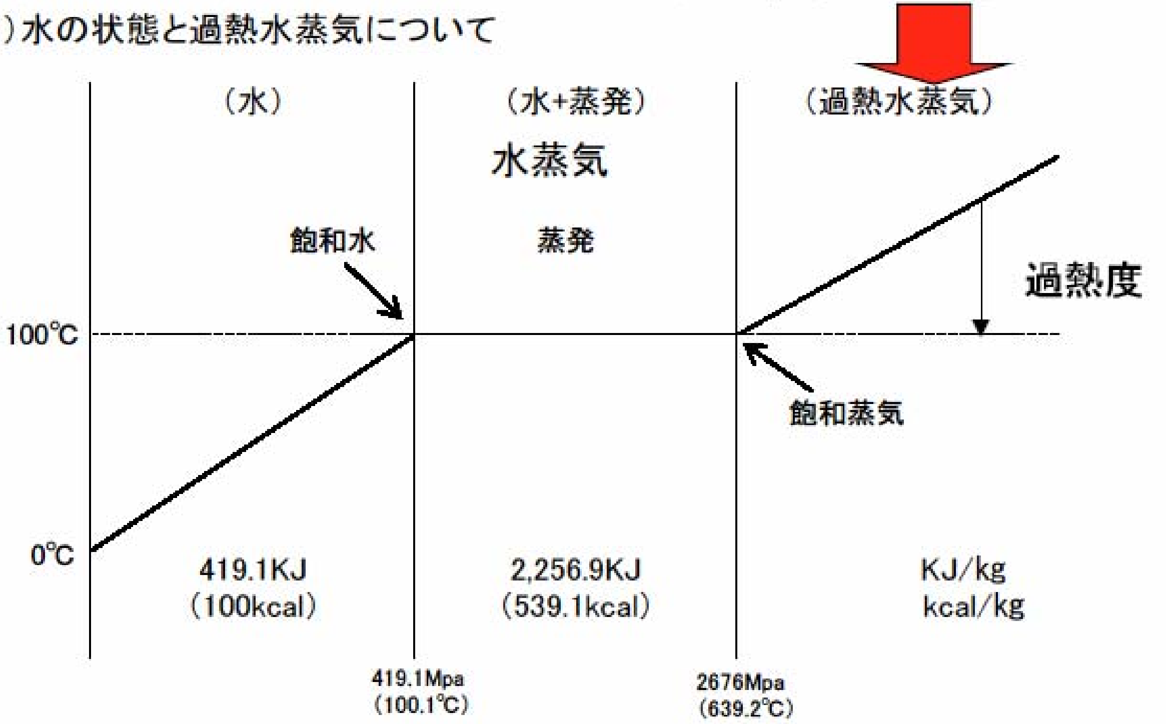
- 使用した過熱水蒸気は水に戻る
- 水に戻った状態で不純物を除くか、あるいは途中で除く
- 過熱水蒸気の中で分解できる

- 資源循環型である
- 過熱水蒸気をいかに効率的に作るか
- 過熱水蒸気を以下に効率的に利用できるか
- 再生可能エネルギーを利用すれば、環境負荷は限りなく小さい

環境負荷を決めるもの

過熱水蒸気とは？熱放射性ガス

（1）水の状態と過熱水蒸気について



100度で蒸発した飽和蒸気をさらに高温度に加熱した無色透明のH_2Oガス

過熱度＝過熱蒸気温度－飽和蒸気温度

① 資源をリサイクルできる技術を開発する
② 実用化して実際に使える技術にする
③ 未利用資源にも使える技術にする
④ 資源の付加価値を高める技術

知識を智恵に変換

作り方・原理

過熱水蒸気

装置そのものの開発：省エネ、耐久性など

①活性炭のリサイクル
土、水、空気の浄化

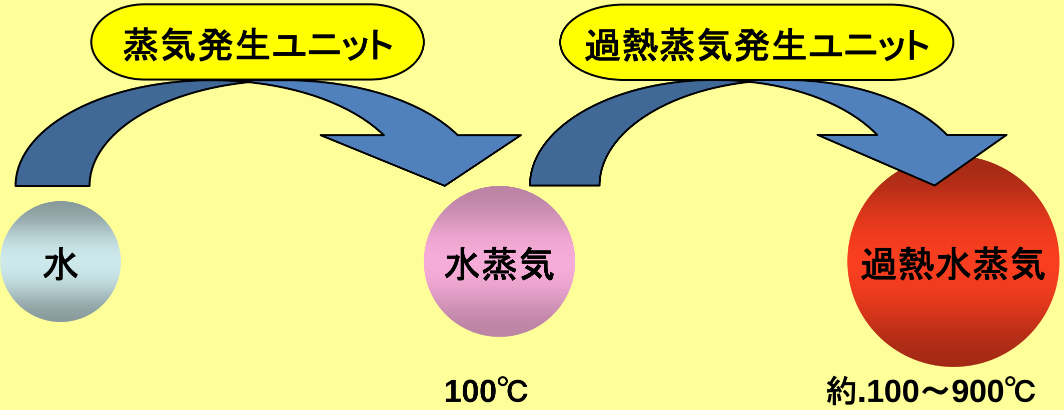
②殺菌・乾燥・粉末化

③調理・焙煎
美味しさと健康

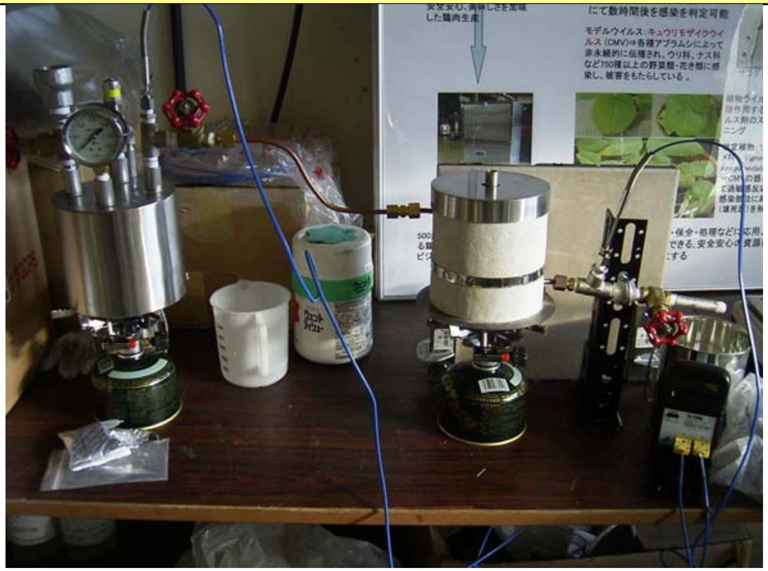
過熱水蒸気の多目的利用

■過熱水蒸気とは■

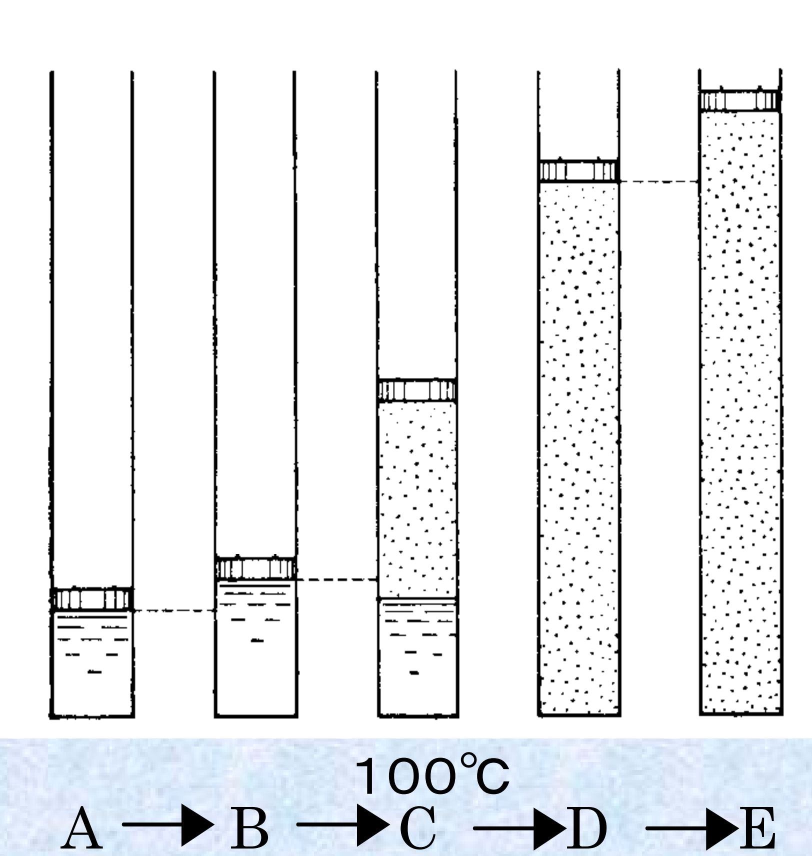
100℃で蒸発した飽和水蒸気を常圧でさらに高温加熱した無色透明のH_2Oガス



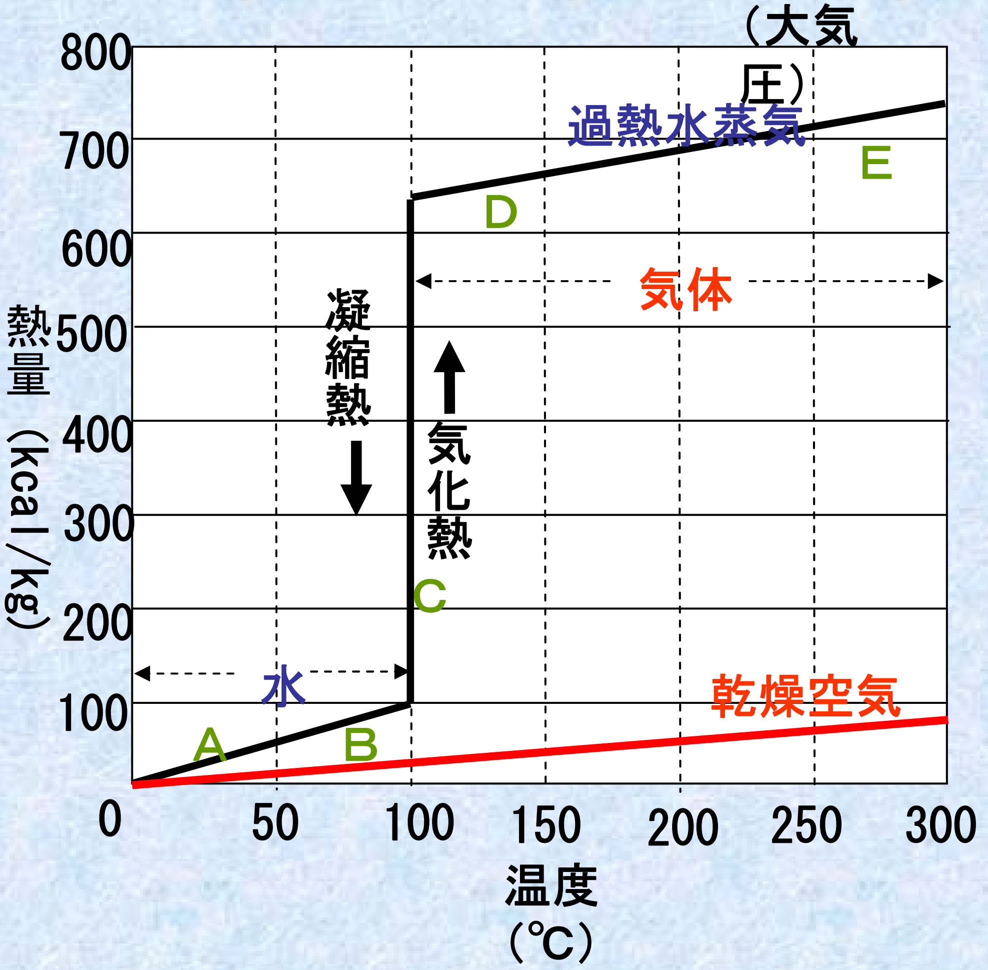
過熱水蒸気発生モデル装置



水から過熱水蒸気への変化



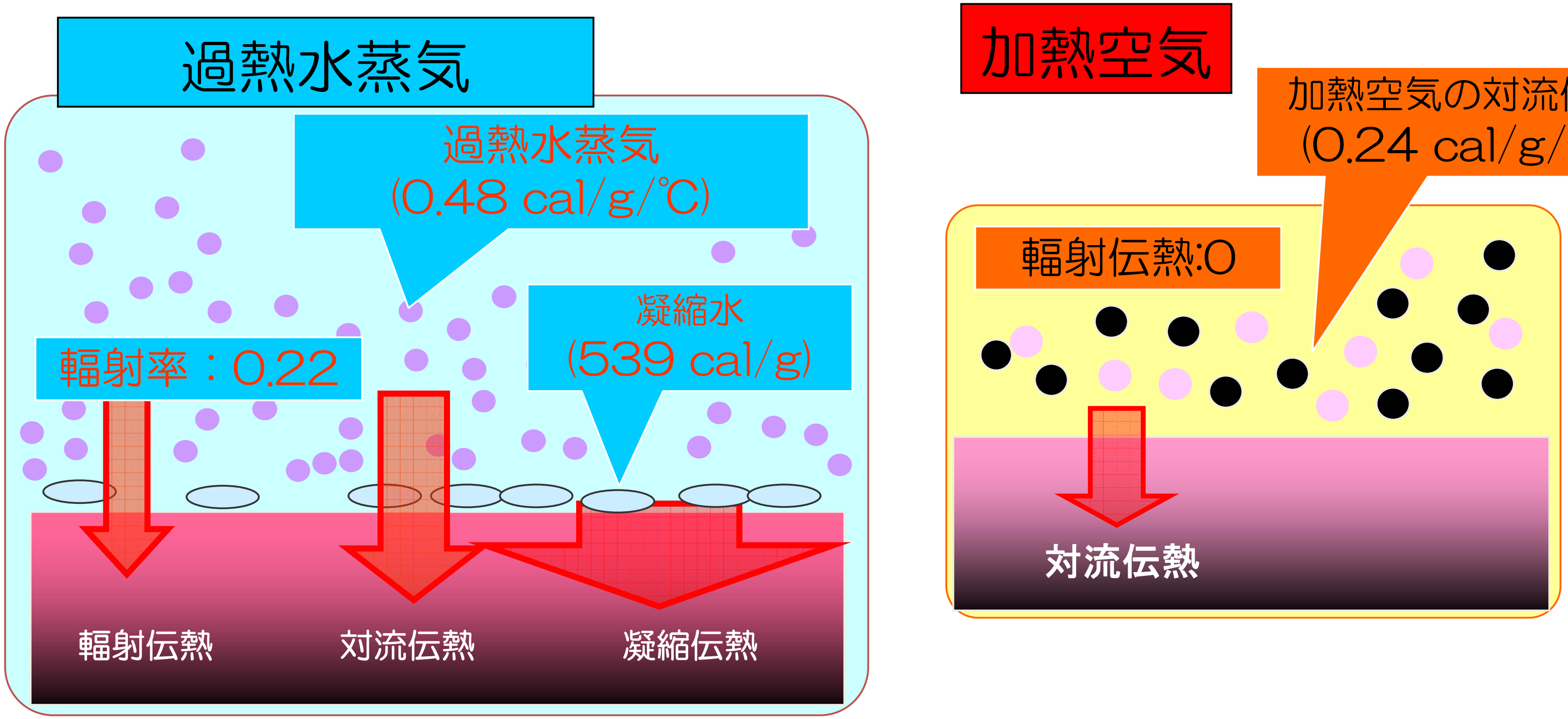
水の相変化過程



エンタルピー(熱量)の変化

過熱水蒸気の併せ技

加熱メカニズムの違い



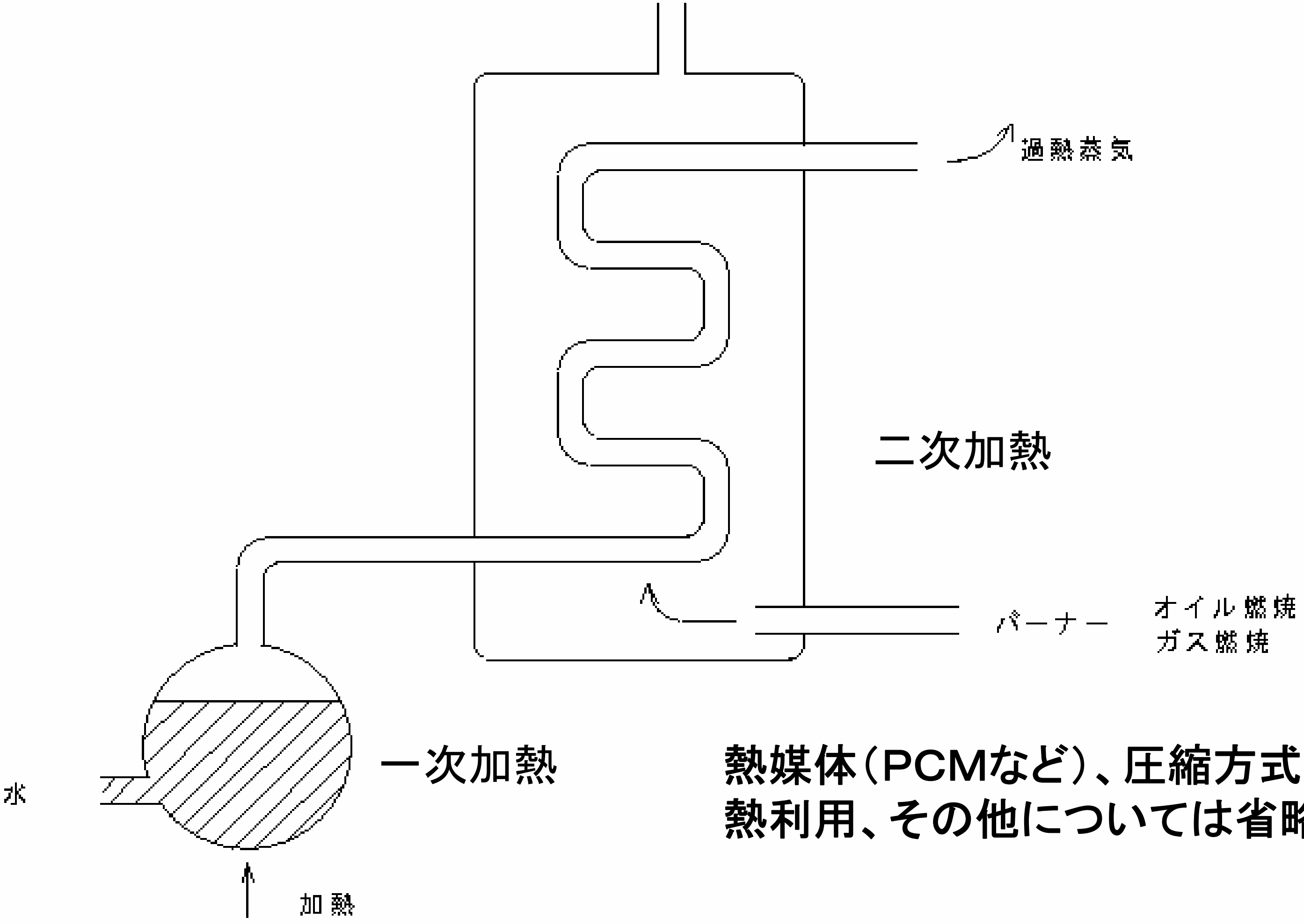
過熱水蒸気の持つエネルギー

温度	過熱水蒸気 Kcal/m^3	加熱空気 Kcal/m^3	熱容量比較
150度	336	26	13倍
230度	298	35	8倍
300度	275	41	6.5倍

過熱水蒸気の作り方

間接加熱法

①オイル燃焼法
②ガス燃焼法

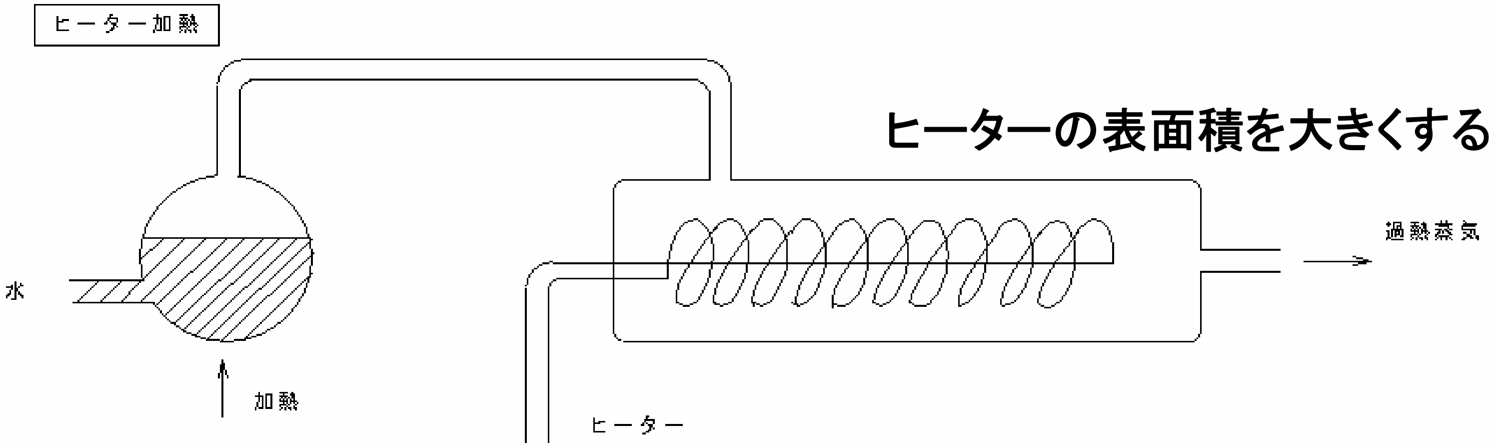


熱媒体（PCMなど）、圧縮方式、高温廃熱利用、その他については省略

37

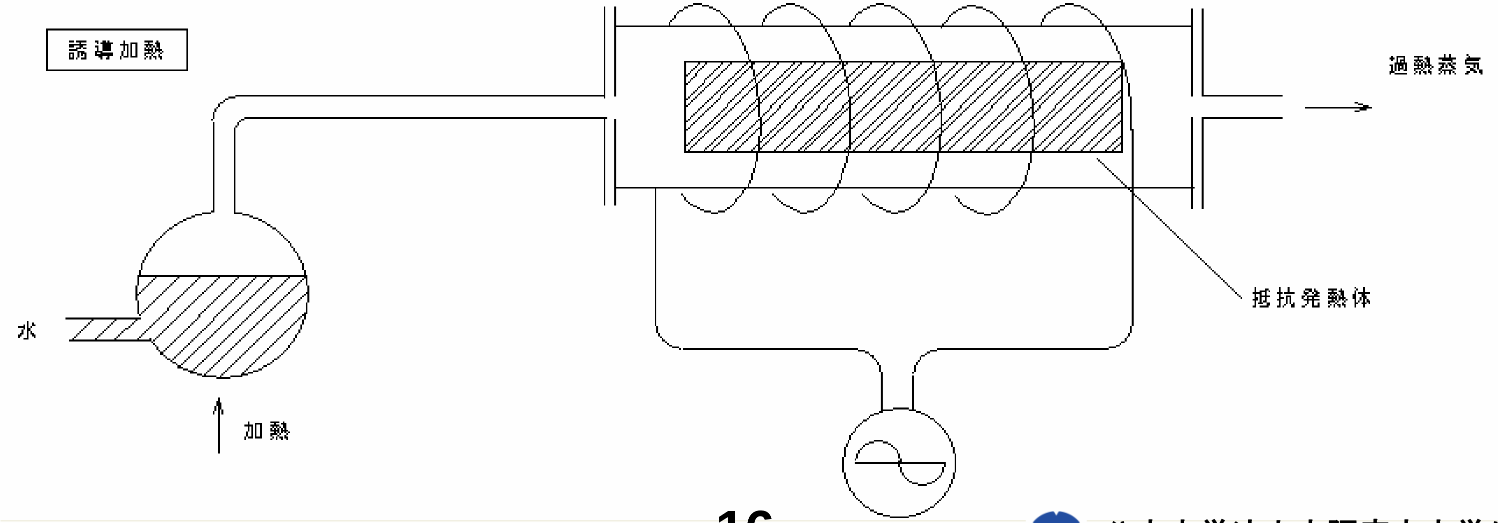
過熱水蒸気の作り方

直接（電気）加熱方式



ヒーターの表面積を大きくする

発熱体の素材・形状により変化



過熱水蒸気の新規な効果

過熱水蒸気による抽出効果

Sample	Recovery (%)
biphenyl on petri dish	107
biphenyl on ash	95
biphenyl on D.F.	77
PCB-analogue on petri dish	101
PCB-analogue on ash	66

過熱水蒸気が調理に利用される理由

1	効率的な熱伝達
2	調理中における赤外線効果
3	蒸しと乾燥の同時進行
4	酸化抑制
5	安全で信頼のできる技術
6	凝縮水による表面の固化の防止
7	油の除去と食品機能化合物の分解抑制
8	有害成分の分解や悪臭の除去
9	栄養価の高い温野菜の提供
10	調理と殺菌の同時進行

共同研究開発のきっかけ

第3回
産学官連携功労者
日本経済団体連合会
会長賞

大阪府立大学

環境浄化技術のひとつとして
過熱水蒸気を研究

シャープ

環境、健康に貢献できる商品開発

・業務用過熱水蒸気調理器に注目

・家庭用調理機として利用を検討

4つ目のパワー

火、電気、原子力、過熱水蒸気

調理は180万年目の
人類にさかのぼる

過熱水蒸気技術を加熱、調理へ応用：知識から智恵へ

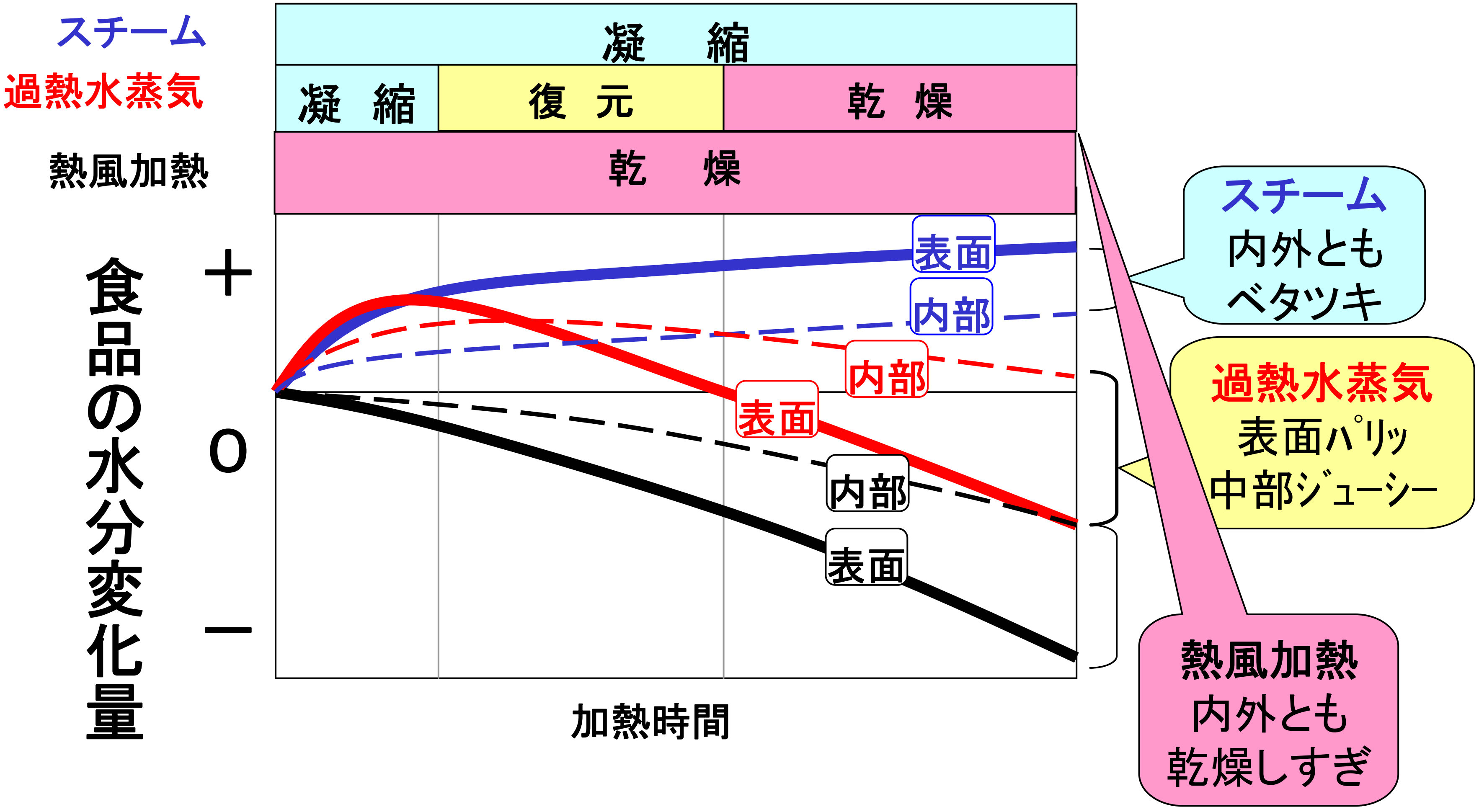
新規な出口で両方のマッチングが可能で、産学連携のモデルとなった。

高品位に仕上がる

・表面はパリット、内部はジューシーに仕上がる

太線：食品表面

破線：食品内部



公立大学法人大阪府立大学生物資源循環工学

脱油:過熱水蒸気の誘電率低下と凝縮熱による油の融解、年度低下による表面染み出した後油敵として落下、洗い落とされる

脱塩:食品表面への凝縮水の付着、表面塩分の洗い流しによる濃度差，加熱による拡散速度の上昇による塩分移動、凝縮水による洗い流し

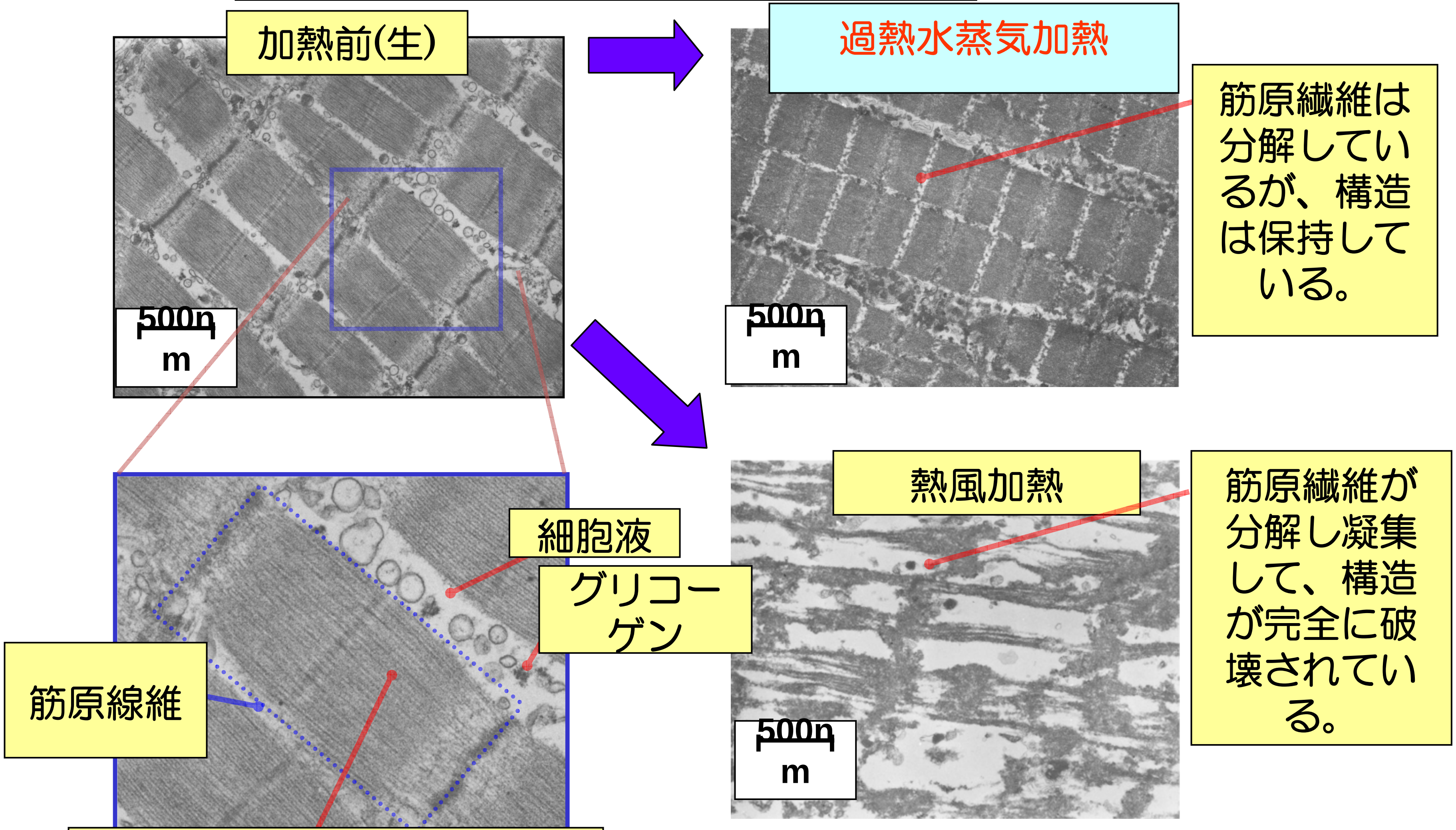
機能成分保持:無酸素高温短時間処理による分解抑制(ビタミンC)、酸化分解抑制(脂肪酸)

健康美味しさ効果をもつ過熱水蒸気調理

II.

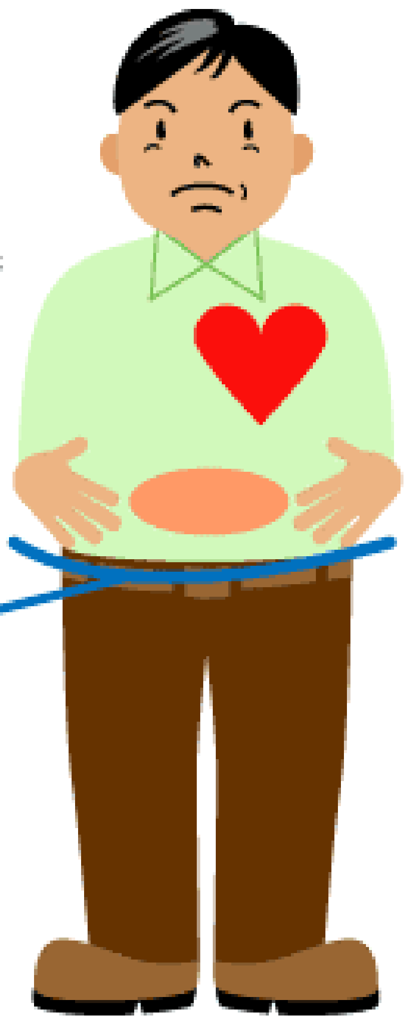
・内部の細胞組織が崩れ難い

鶏肉の組織写真（表面から5mm程度内部の部分）



撮影：花市電子顕微鏡 技術研究所

1.ウエストに加え、2~4のうち、
２項目以上該当する場合、
メタボリックシンドロームと診断



医療費　2025年64兆円

↑

医療費　2004年32兆円

1. ウエスト
男性 >85cm
女性 >90cm
※内臓脂肪面積≧100㎠に相当

＋

2. 脂質代謝異常
中性脂肪≧150mg/dL
または
HDLコレステロール値<40mg/dL

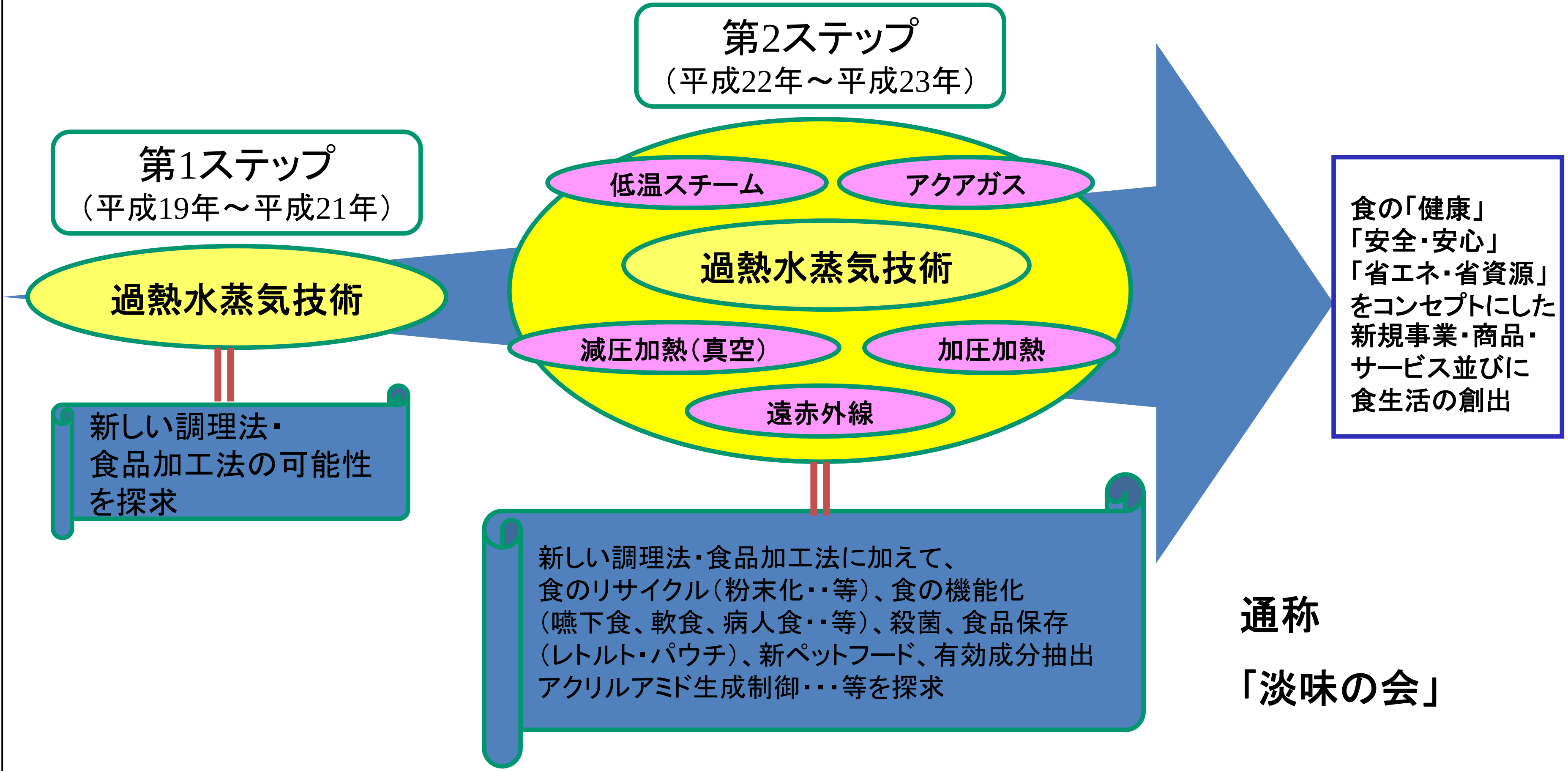
3. 血圧
≧130/85mmHg

4. 血糖
空腹時血糖値
≧110mg/dL

平成17年4月8日　第102回日本内科学会総会　プレスリリースより作成

◆「過熱水蒸気による食の研究会」第2ステップ（平成22年～平成23年）の方針について

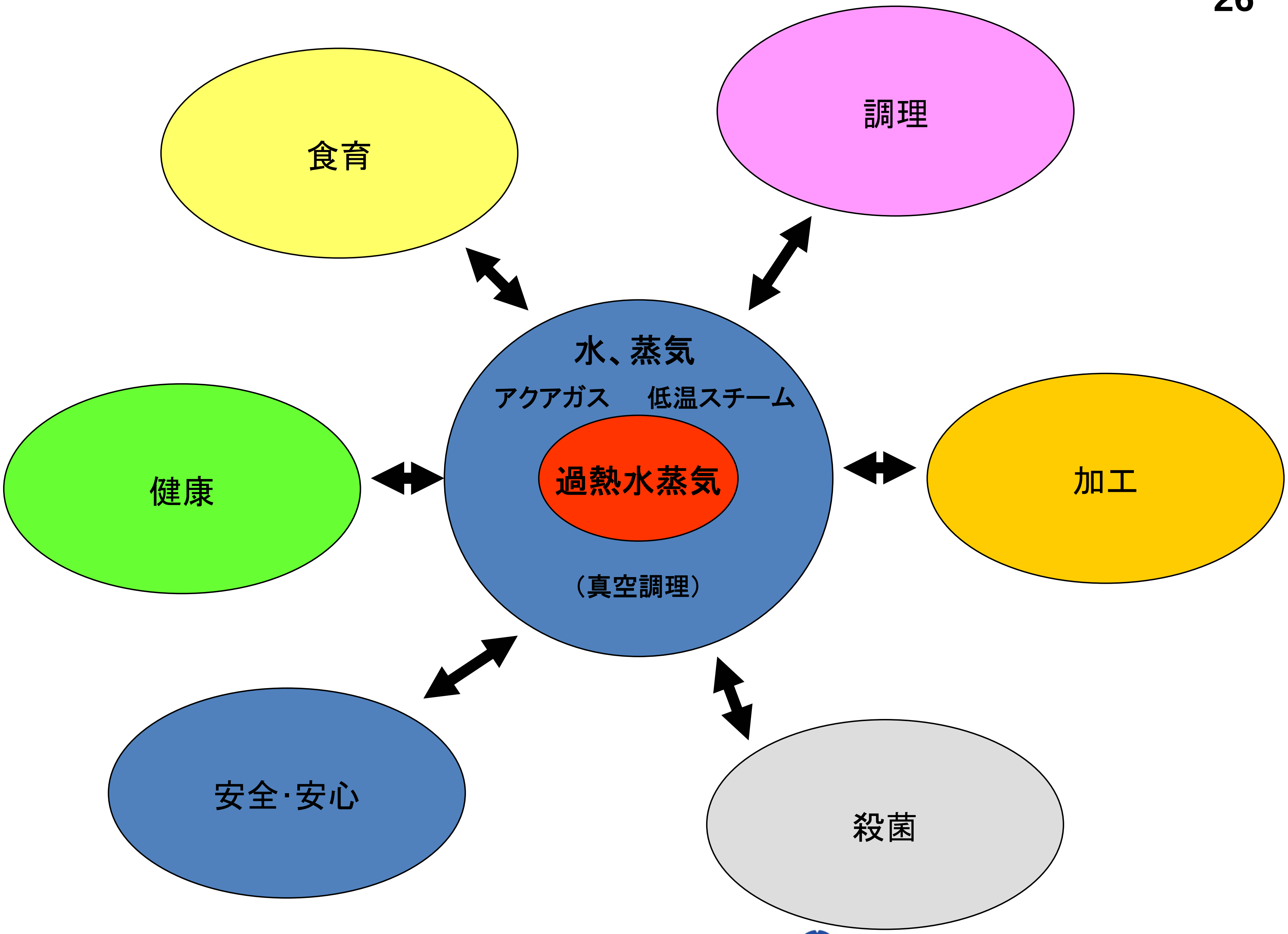
本研究会の第1ステップ（平成19年～平成21年）では、「過熱水蒸気技術」の特長を生かすことにより、食の「健康」「安全・安心」「省エネ・省資源」をコンセプトにした新しい調理法や食加工法の可能性についていろいろな切り口で探求してきました。**第2ステップ**では、「過熱水蒸気技術」を中心にして、「低温スチーム」「アクアガス」「減圧/加圧加熱」「遠赤外線加熱」などの要素も加えることにより、さらに食材の持つ多様性の検証を行い、具体的な新規事業・商品・サービス並びに食生活の創出を目指します



過熱水蒸気利用開発実用事例

用途	内容および研究形態	適用温度と用いた特徴
脱臭処理	悪臭ガスの分解 （醤油粕について）	200～900度　A,B,C
食品残さ処理	食品残さおよび廃棄物の乾燥･炭化（企業との共同研究）	500 ～ 800度　A,B,C
調理器	小型･家庭用調理器開発 （企業との共同研究）	250 ～ 300度　A,B,
有機性廃棄物処理	有機性廃棄物の乾燥･減容処理（企業との共同研究）	400 ～ 600度　B,C
用途別炭化と再生処理	廃木材･竹の炭化、燃料への転用、再生利用（特許出願、実用化）	300 ～ 800度　A,C
有害物質の分解	ダイオキシン類の分解（企業との共同研究）	400 ～ 500度　A,D
有害物質の抽出除去	土壌中のダイオキシンの抽出、青果物からの農薬除去（企業との共同研究）	200 ～ 400度　D
殺菌・粉末化	米ヌカ、野菜等の資源化有効化のための殺菌と乾燥、粉末化（特許出願中・実用化）	130 ～ 300度　D
前処理･工程改変	ドラム缶缶内洗浄仕上げ、乾燥(（特許出願中・実用化）	200 ～ 350度　B,D
加工法	ロープ熱加工による品質向上（特許出願中・実用化）	それぞれの融点より10度低い温度を採用　B,D,E

A:無酸素、B:対流・放射・凝縮の複合伝達、C:過熱度、D:制御性、E:常圧利用


食育
調理
水、蒸気
アクアガス　低温スチーム
過熱水蒸気
（真空調理）
健康
加工
安全･安心
殺菌

多目的利用過熱水蒸気装置

過熱水蒸気オーブン

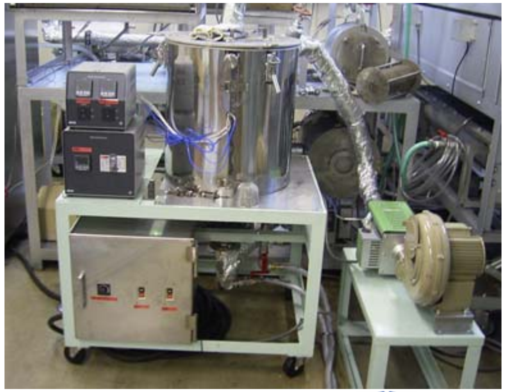
炭化炉

抽出装置

過熱水蒸気発生装置心臓部:カーボン発熱体を通電した状態

過熱水蒸気発生機

キルン式多目的連続過熱水蒸気装置



過熱水蒸気乾燥装置

効率的に過熱水蒸気つくるには

誘導加熱による抵抗発熱体の発熱は、$P=I^2\cdot R$で与えられる

加熱電力　$P=P_1+P_2+P_3+P_4$

P_1：吸収電力　$4.186\times MC\Delta T$（kW）

P_2：放射電力損：$5.74/\cdot e\ [(273+t_2/1000)^4] - [(273+t_1/1000)^4]$（$w/cm^2$）

P_3：対流損：$154\Delta p$（$\mu w/cm^2$）

P_4：伝導損：$372\Delta T\sqrt{k\cdot c\cdot s/t}$（$w/cm^2$）

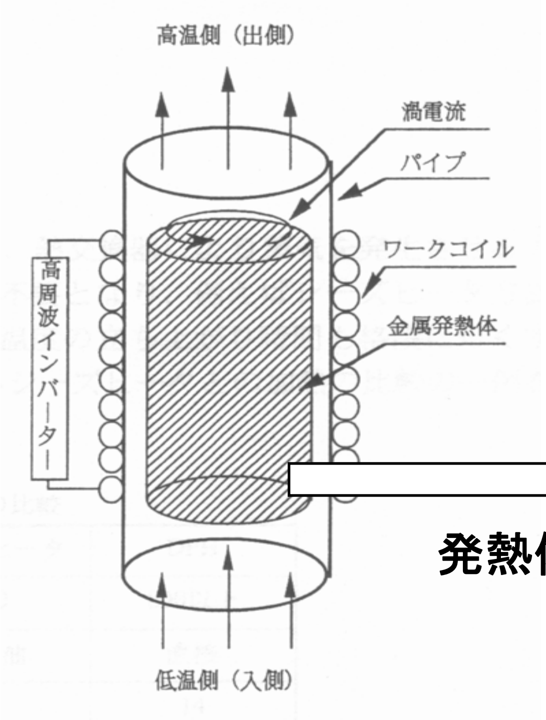
水蒸気の加熱は抵抗発熱体よりの伝導熱と放射熱により行われるので、伝熱面積の大きな形状と放射率の高い材料が理想

加熱に要する電力はP_1のみであり、他の過熱化方式に比べ有利である。対象となる材料は、ステンレス、カーボン、グラファイト、SiC、CO合金、サーメット合金等が利用できるが、比重、比熱、固有抵抗、放射率で優れた値をもつカーボンがよい

さらに優れているのは、水や空気など流体に対する耐腐食性に優れている、熱衝撃にも強い、熱膨張も小さいことなど

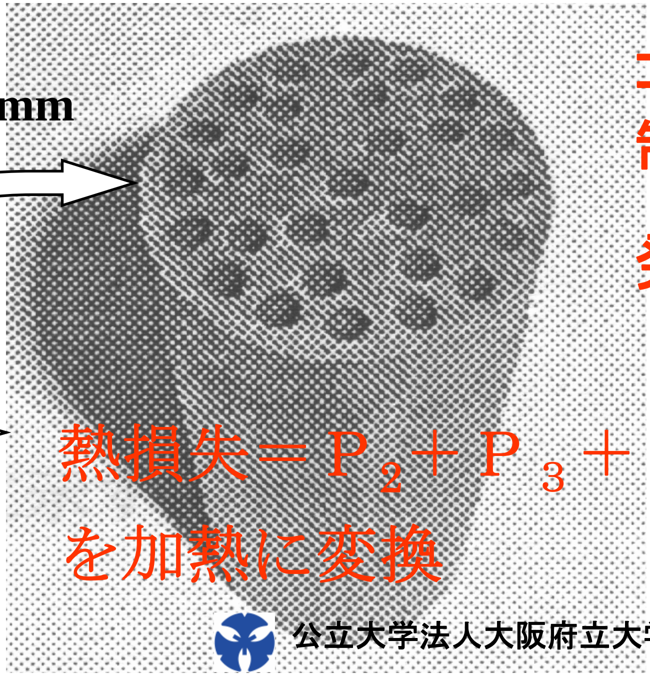
過熱水蒸気発生装置の材質選択について

材質	比重	比熱	放射率
ステンレス	7.9	0.11	0.5 以下
鉄	7.86	0.15	0.5 以下
カーボン	3.5	0.16	0.8 以上
グラファイト	2.25	0.17	0.8 以上
SiC	3.1	0.16	0.8 以上



35x150　mm

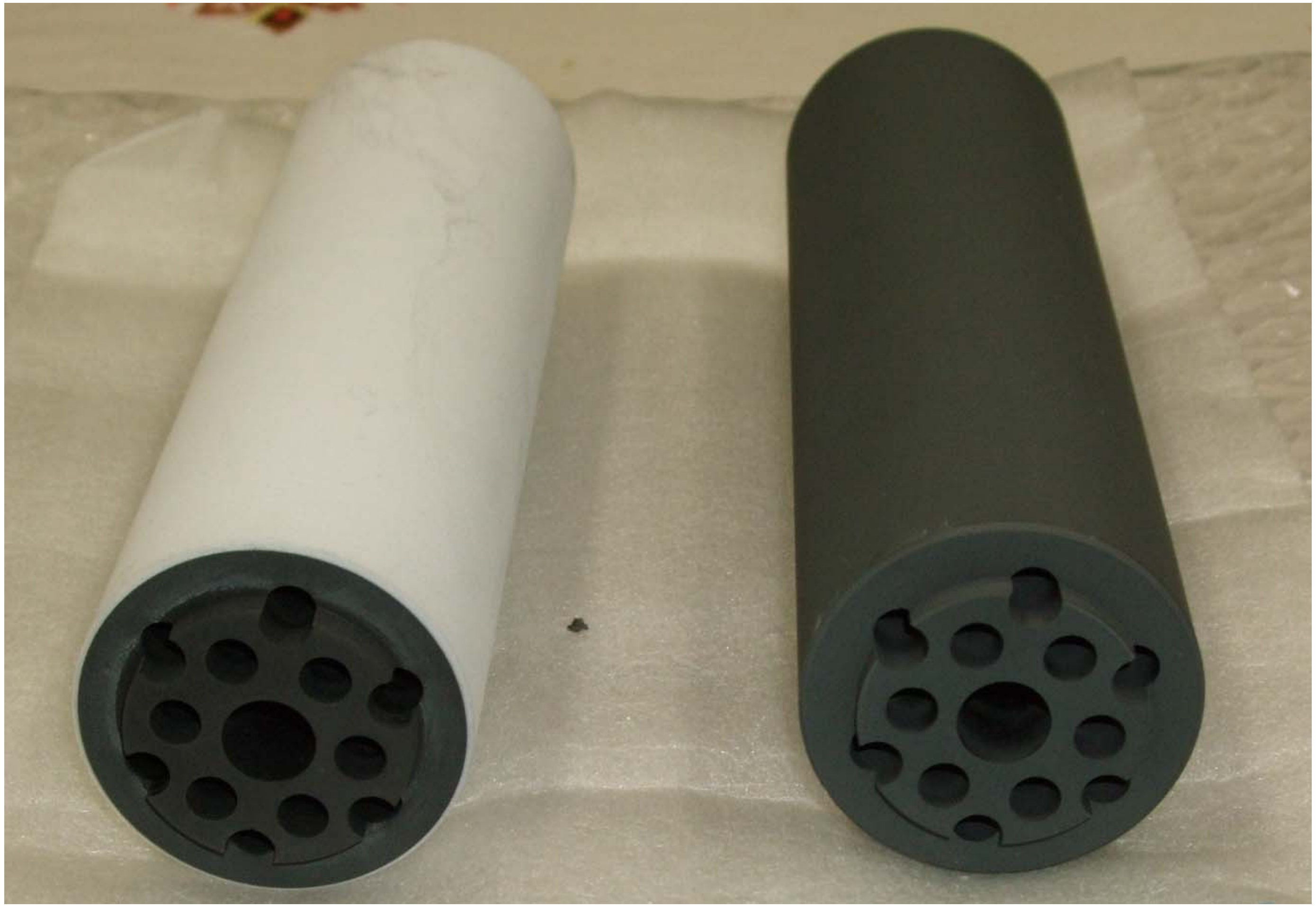
発熱体



コンパクト、
制御性を
発揮

熱損失＝$P_2+P_3+P_4$
を加熱に変換

発熱体の耐久性向上に向けて



スピネル加工：Al_2O_3（70%）、MgO（30%）　SiC加工：溶射加工

溶射加工

5－10倍の耐久性、現在試験中

技術と省エネルギー

・ノートパソコン　消費電力　20W

LCI(集積回路）

・トランジスターに置き換えると

$2x10^9$　個

・真空管に置き換えると$2x10^{19}$個必要
消費電力は20万KW

ファクター10の可能性

産業セクター	ファクター10の可能性
林産業	小
農業・食料	大
化学・医薬品	かなり大
鉄鋼	小
半導体	非常に大
機械	十分にある
エネルギー・土地・水の供給	大
輸送・通信	小
廃棄物(未利用資源）	十分にある

これからの安全・安心野彩流通販売システム

農場から食卓へ（From Farm to Kitchen)

GAP(Good Agricultural Practice)

適正農業規範

生産者

GMP(Good Manufucturing Practice)

適正製造規範

GDP(Good Ditstribution Practice

適正流通規範

食品業者

流通

GHP(Good Hygine Practice)

適正衛生規範

消費者

HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point)

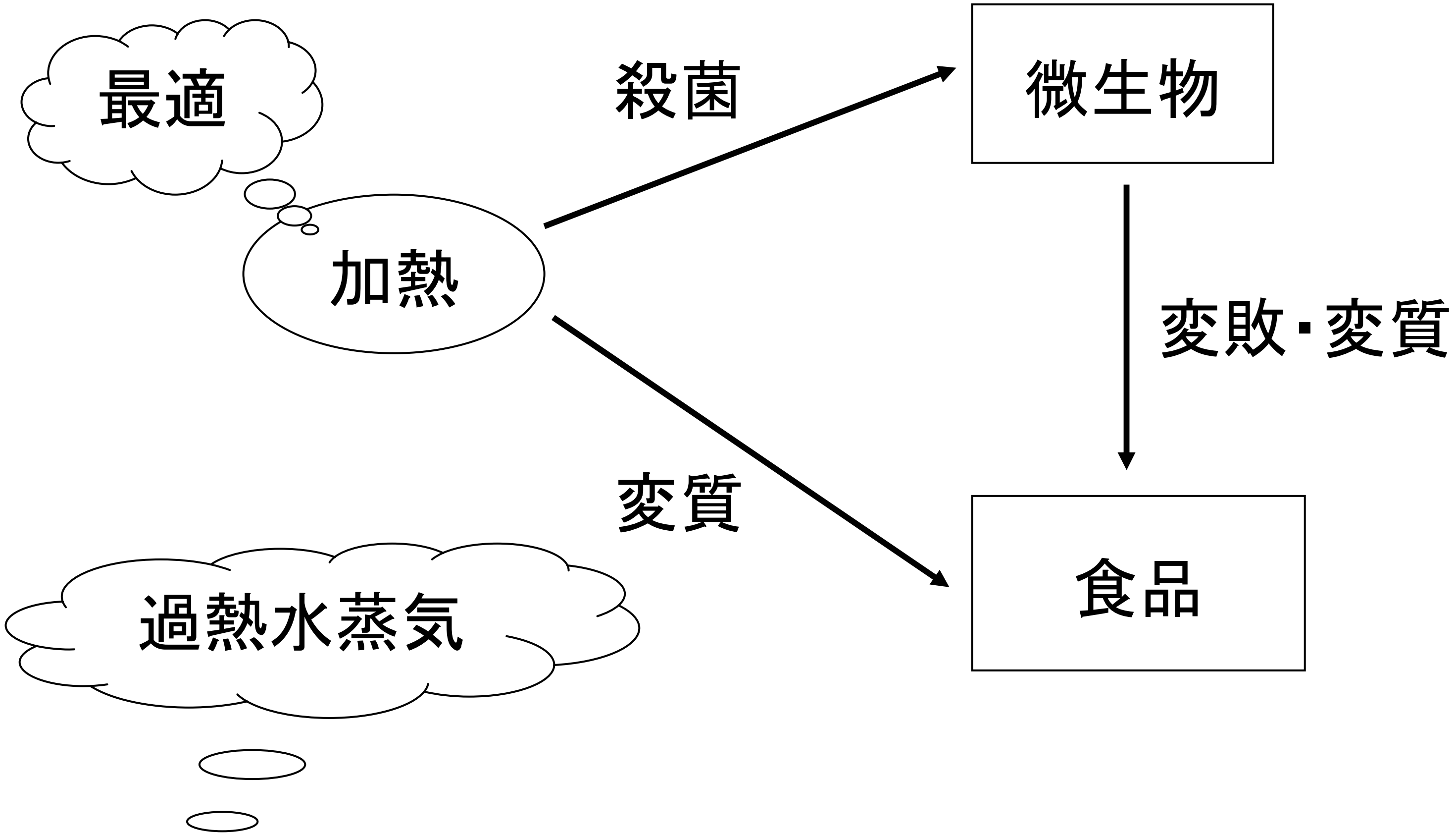
儲ける

評価・保証システム

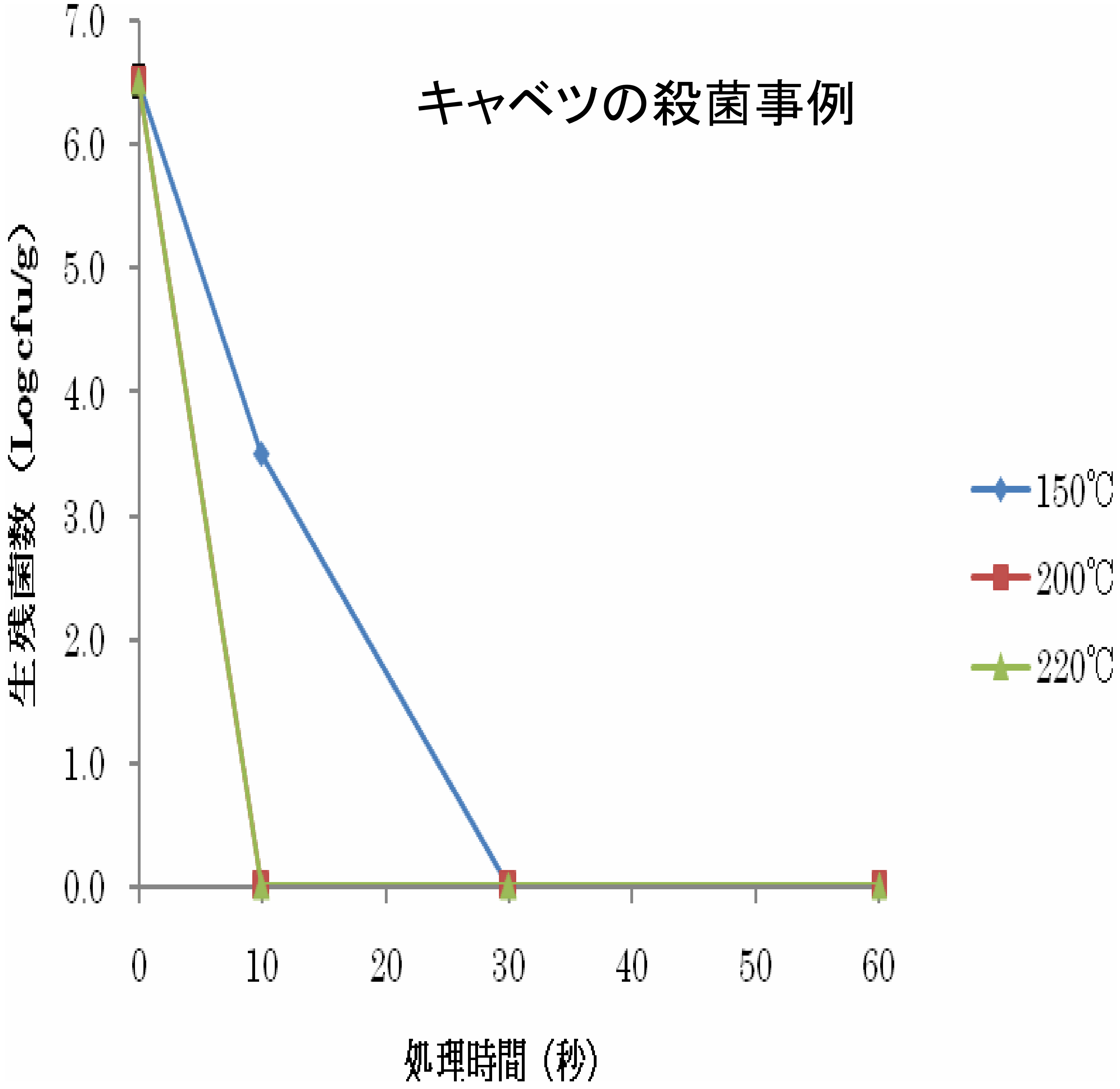
《主要食品殺菌方法一覧》

	殺菌方法	殺菌可能段階	適応食品	特　　長
加熱殺菌	低温殺菌	包装後	缶・瓶・プラスチック容器入り食品	ボイル、シャワー、スチーム、電気・ガスの4種類の方式に分けられ様々な食品に対応が可能である。
	レトルト殺菌	包装後	パウチ詰めレトルト食品・魚肉ソーセージ	120℃で4分以上殺菌するため、耐熱性芽胞菌まで殺菌することが出来る。
	HTST殺菌	包装前	果汁・牛乳	品質の劣化が小さく、低温殺菌よりも殺菌時間が短縮できる。
	UHT殺菌	包装前	牛乳・豆乳・ケチャップ、ヨーグルト等	流動状食品・固液混合食品・粉末食品・香辛料に適し、短時間で殺菌できる。
	過熱水蒸気殺菌	包装前	香辛料など	かおりなどを損なうことなく粉粒体を短時間で殺菌・乾燥が可能。
	マイクロ波殺菌	包装前 包装後	ジャム・餅・惣菜・弁当	短時間で過熱効率が高く、複雑な形状の食品にも対応できる。
	赤外線 遠赤外線殺菌	包装前	かまぼこ・ちくわ・パン	均一加熱が容易で、短時間で殺菌が可能である。
	通電加熱殺菌	包装前	みそ・かまぼこ	常温保存が可能な調理食品の無菌処理や固形物を含んだ製品の殺菌などの利用が可能である。
非加熱殺菌	紫外線殺菌	包装前	飲料水	エタノールや有機酸などと併用することで殺菌力の効果を高める。
	化学合成殺菌剤	食材段階	野菜	次亜塩素酸が主流。広範囲の微生物に対する殺菌力と低コストがメリット。
	オゾン殺菌	食材段階 包装前	飲料・野菜	オゾンは人体に無害であり、菌種によっては高い殺菌力が見込まれる。
その他	振動磁場法殺菌	包装後	大半の食品類	2～5℃の発熱上昇で2桁菌数の減少。食品の品質劣化がない。
	パルス殺菌	包装前 包装後	飲料水・冷凍食品・食肉・食パン	光の20，000倍の光の強さ（照射エネルギー 1フラッシュ ＝ 0．5～0．75cm^2）。2～3フラッシュで芽胞菌を7～9桁低下させる。

過熱水蒸気による殺菌



湿熱：熱伝達良いー濡らせないものには不向き
乾熱：熱伝達悪い

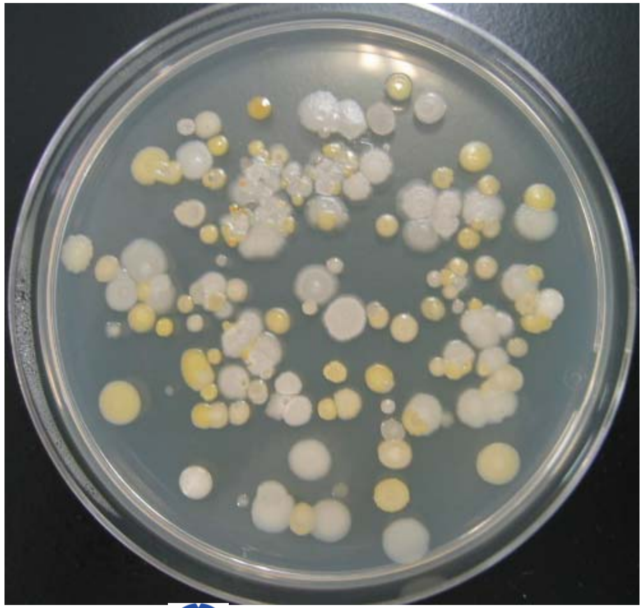


薬草（マタタビ、カキの木、メグスリ、クワ、カキドウシ、ミョウガ、ショウガ）でも同様の結果

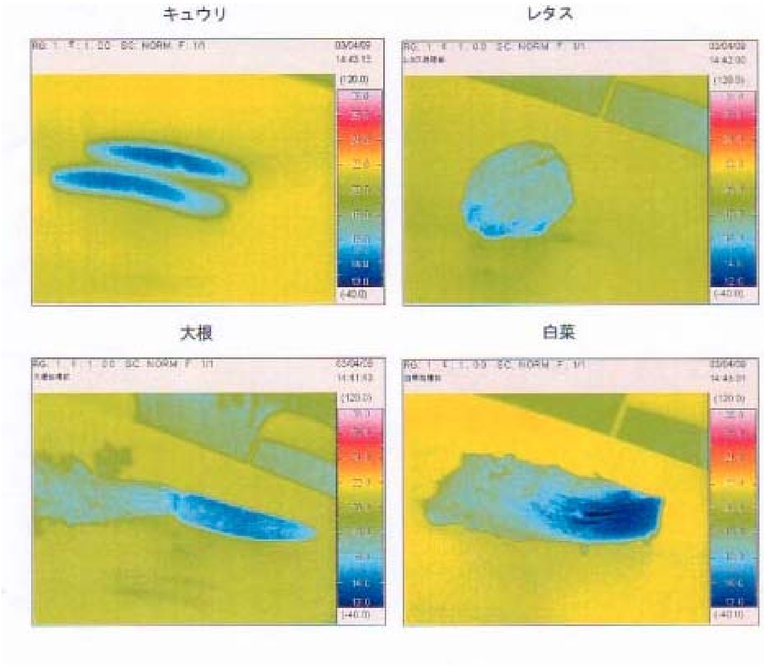
殺菌前

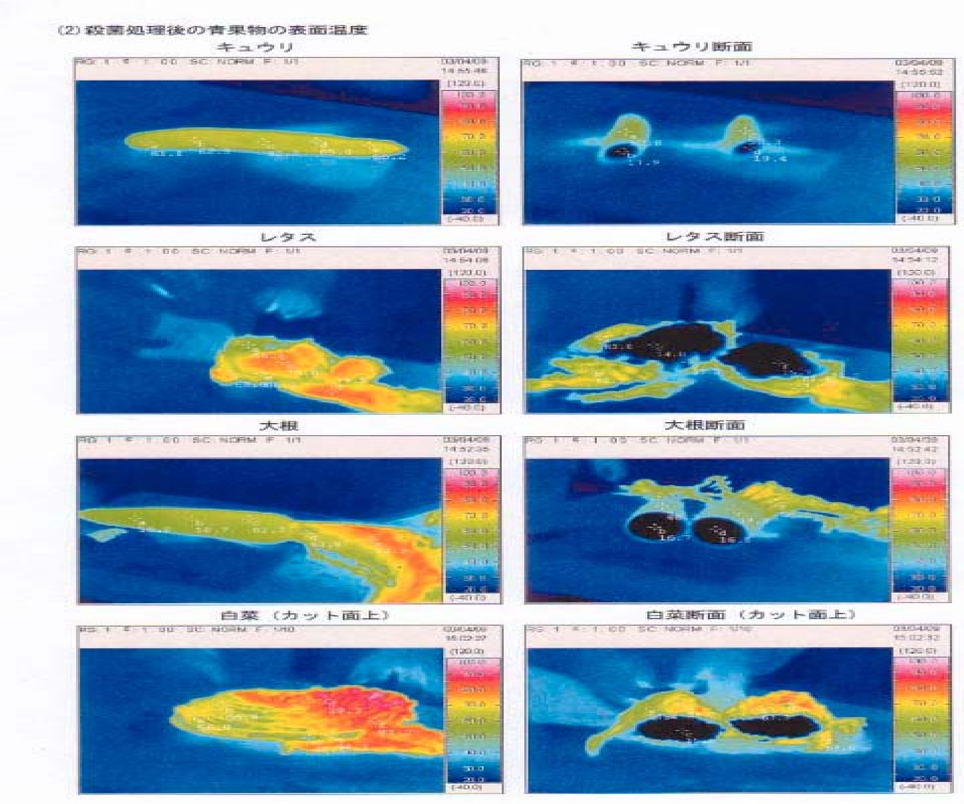
殺菌後（過熱水蒸気250度10秒）

500倍希釈して測定



過熱水蒸気無菌化処理効果

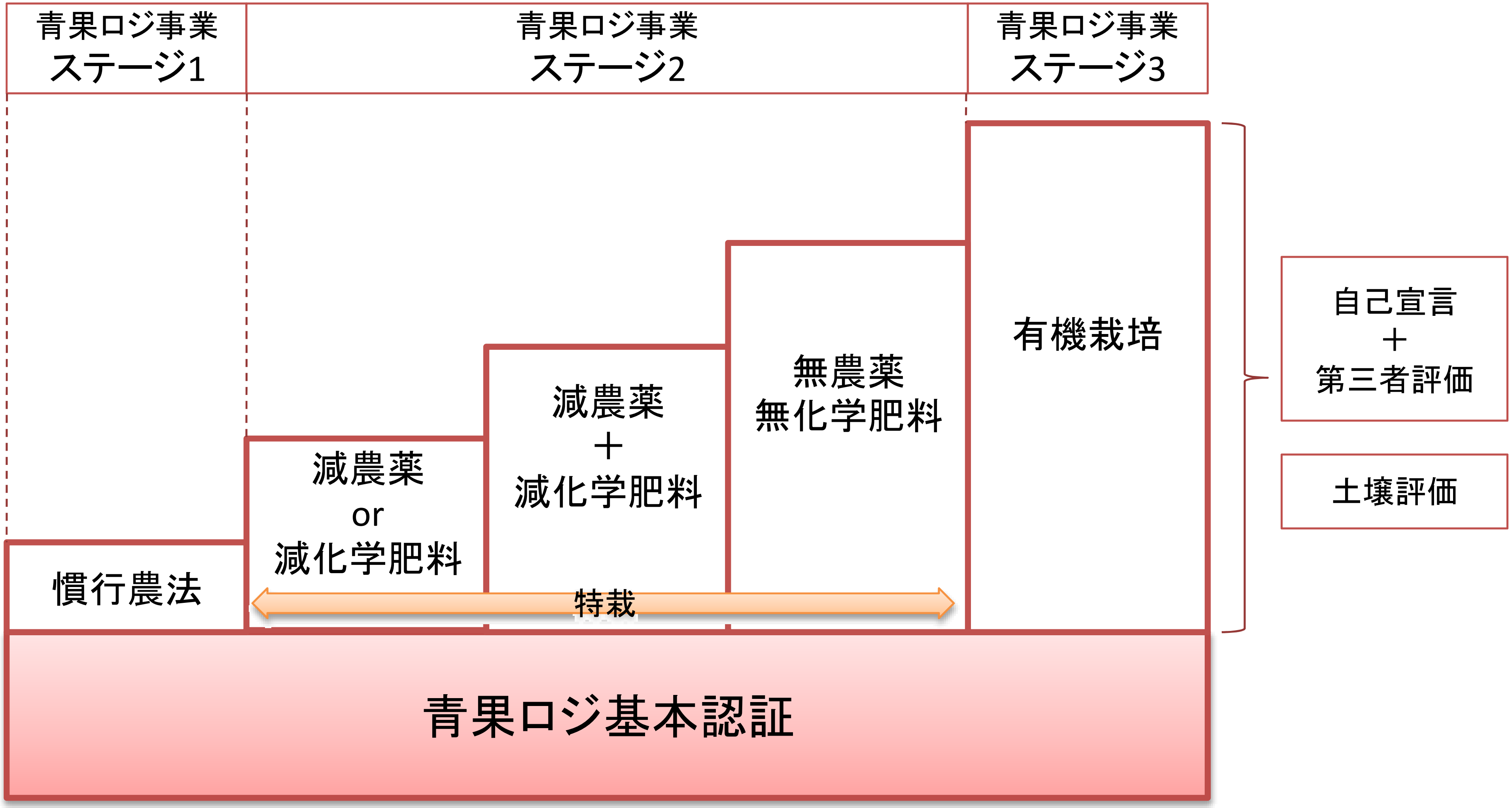




青果物（人参）への過熱水蒸気殺菌効果について

処理条件	温度	未処理	180度			190度			200度	250度
	時間		10秒	15秒	20秒	10秒	15秒	20秒	20秒	20秒
一般生菌数		8.4 x 10^6	9.5 x 10^2	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下
大腸菌群数		2.9 x 10^6	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下

検出限界とは300以下を示す。　菌数の単位はＣＦＵ／g



新しい農商工金学官民連携循環型社会共生システム

ATCにおける新しい農商工金学官民連携循環型社会共生システム

(1)農の取り組みとして	(2)商工金の取り組みとして	(3)官・学・民(NPO)の取り組みとして
① 地元・特色素材の生産 ② 個性・主張のある農産物加工品の育成（農産物のブランド化） ③ 圃場の提供（行政関与） ④ 農場レストランや農家ステイ事業創造 ⑤ 農起業者の為の『起業塾』の開講 ⑥ 耕作放棄地の解消 ⑦ 都市農業の構築－野菜工場の確立 ⑧ マイクロクレジットによる起業	① 新流通の構築（商）ex. 無洗野菜、産直、農場スーパー…等 ② 素材の生かし方やブランド化支援（商・工） ③ 販売拠点での特色表示やコーナー化（商） ④ 販売数量へのコミットメント（商） ⑤ 野菜工場、生ゴミ処理機、過熱水蒸気設備等の低コスト化とエネルギーコストの低減への取り組み（工） ⑥ 土壌分析や作物の簡易分析機の製作（工） ⑦ 食堂・レストランで成果物活用（商） ⑧ 金融機能リース・ファイナンス・IT等（商・工） ⑨ マイクロクレジットによる起業	① 農商工学官民連携の場づくり（官） ・食と環境を考える啓発展示場の創造 ・農商工学官民連携会議体支援 ① 智慧、最新の知の提供（学） ② 農商工学官民取り組みの周知と参画者募集やその啓発物の作成（NPO） ③ 農商工学官民連携のビジネスマッチング（NPO） ④ 安全・安心成果物の享受（民） ⑤ 「食と環境を守る」プロジェクトにより生み出された成果物の認証管理事業や事務局機能（NPO）

製品の値段

製品名	値段(グラムあたり)
薬品	100円から∞
食品(お米)	0.3円
車(カローラ)	1円
コンピューター(ノート型)	200円
携帯電話(写メール)	100-300円

本来の自然（いろんな顔）

誰が負担しているのか？

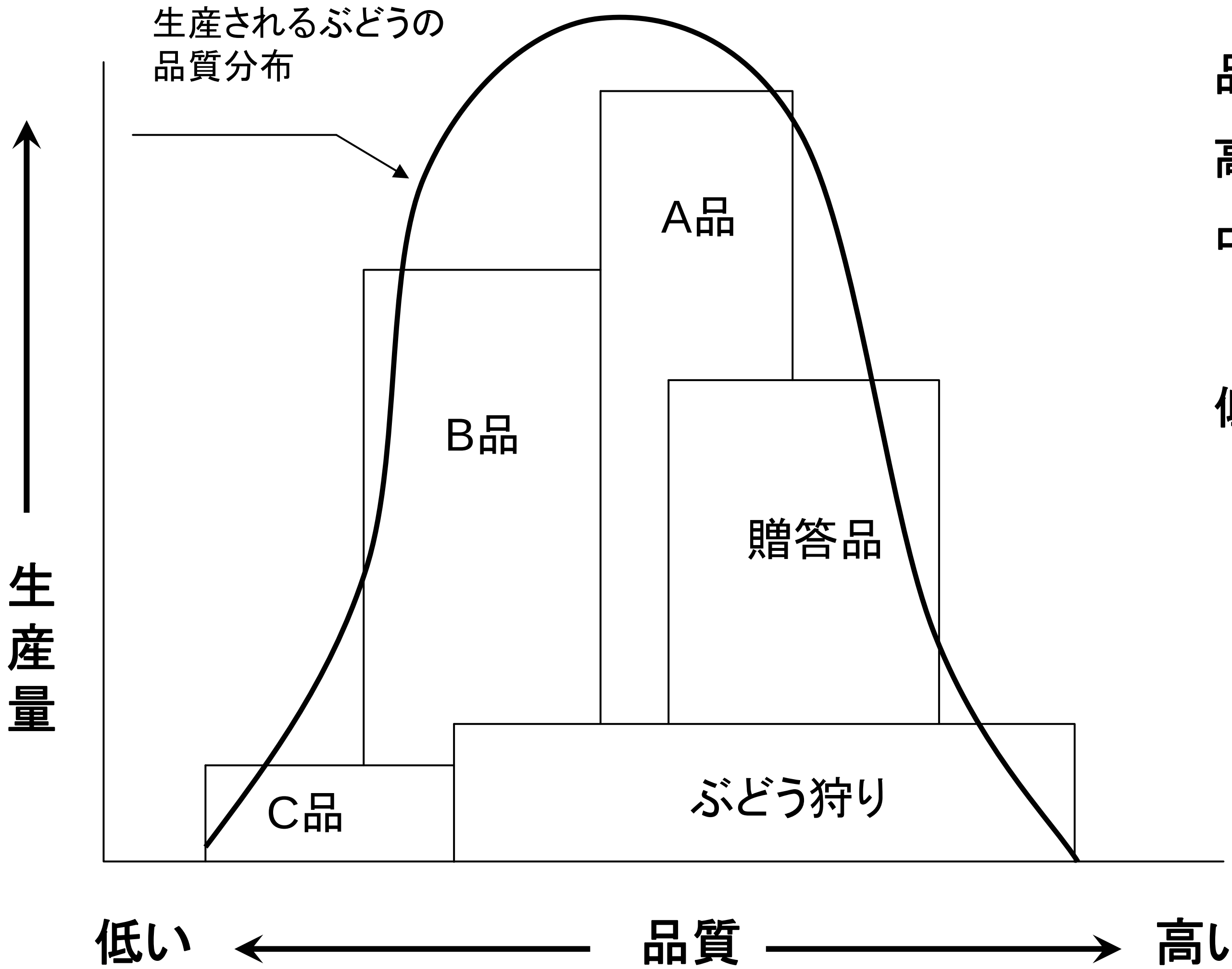
莫大な労力と時間をかけて、すべて同じ顔にする。

違う顔は捨てられる

コストが高くなるのは、自然の摂理を無視している

スーパーで並ぶ作物

プロダクト・ミックスで価格を設定



品位によりわける

高：進物、贈答品

中：スーパー、デパート、小売

低：殺菌乾燥、粉末化　其の他の用途

過熱水蒸気殺菌乾燥装置

過熱水蒸気利用による回転式乾燥装置

装置全体写真　　過熱水蒸気発生装置

粉物への転換:安全・安心の付加価値

価格から価値化へ

むらさき芋畑

畑

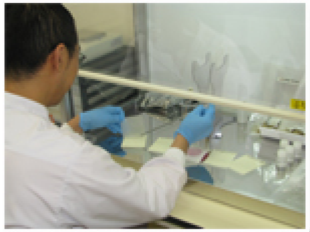
加工前

殺菌

乾燥

粉末

袋詰め



Kg300円が
5000円に

未利用資源の高付加価値化事例

＜シークヮーサー（*Citrus depressa*）とは･･･＞

・沖縄県や台湾に自生している柑橘植物

・果実の大きさは 2～4 cm程度

・年平均生産量は約1000 t

・ノビレチン（ポリメトキシフラボノイドの一種）などの機能性成分が豊富に含まれていることがわかり大きな注目を浴びている

＜シークヮーサーの主な利用＞

収穫したシークヮーサーの多くがジュースやサプリメントなどに加工

果皮などの残渣が大量に廃棄されている!!

アレルギー抑制作用

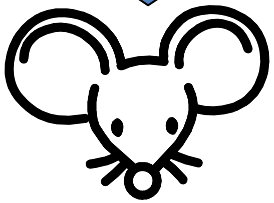
アレルギー抑制作用の測定法

BALB/c マウス（雄、6週齢）を粉末飼料で5日間馴化

↓

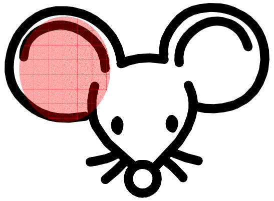
体重に準じて群分け後、デジタルノギスにて両耳の厚みを計測

↓



右耳に0.3% 2,4,6-trinitrochlorobenzene（TNCB、アレルギー誘発物質）溶液を、左耳にアセトンをそれぞれ10 μl塗布（感作）

↓



3日後にデジタルノギスで両耳の厚みを計測した後、右耳に0.3% TNCB溶液を、左耳にアセトンをそれぞれ10 μl塗布（初期誘発）し、以後2日毎に同様の操作を繰り返した（反復誘発によるアトピー性皮膚炎誘起）

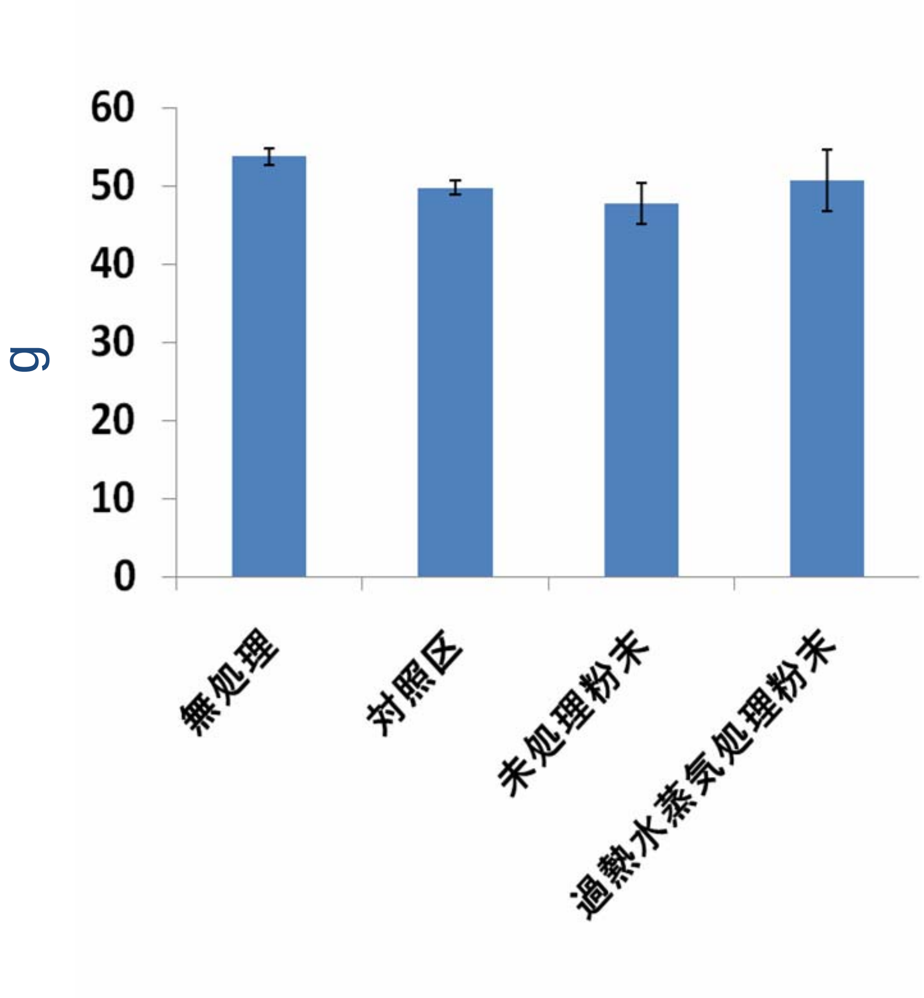
※摂食量はエサ交換時毎に、体重は週1回計測

アレルギー抑制作用

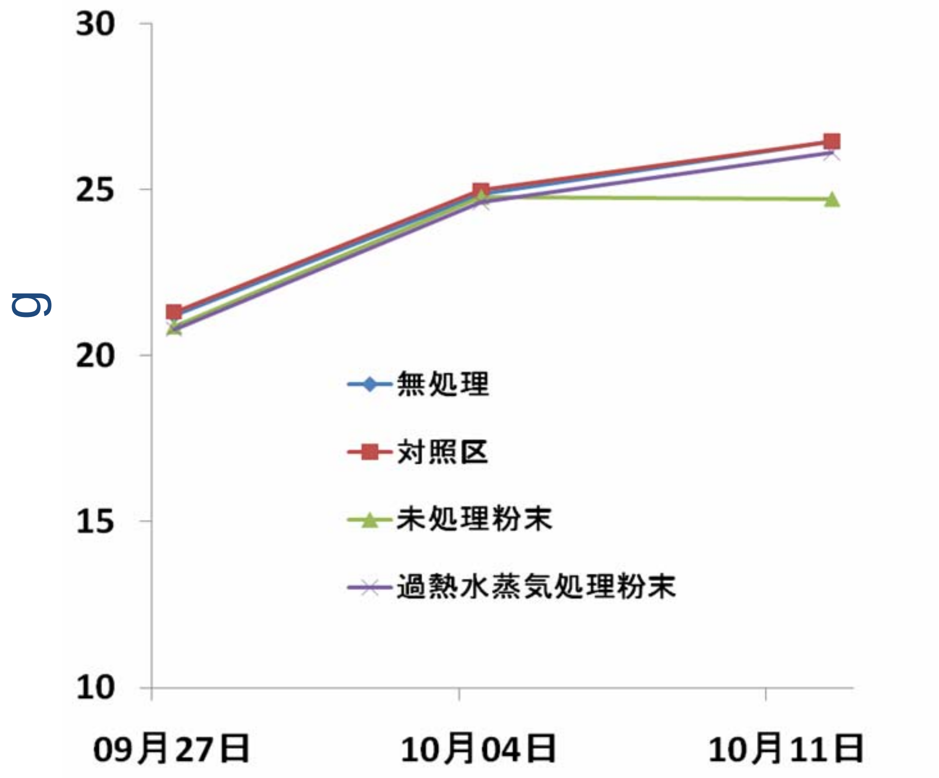
	右耳 TNCB塗布	左耳 アセトン塗布	飼料
対照	有	有	AIN-93M
無処理	無	無	AIN-93M
サンプル(0.5%)	有	有	0.5%粉末化サンプル含有AIN-93M
サンプル(0.5%)	有	有	0.5%過熱水蒸気処理サンプル含有AIN-93M

アレルギー抑制作用

摂食量(9/30～10/12)



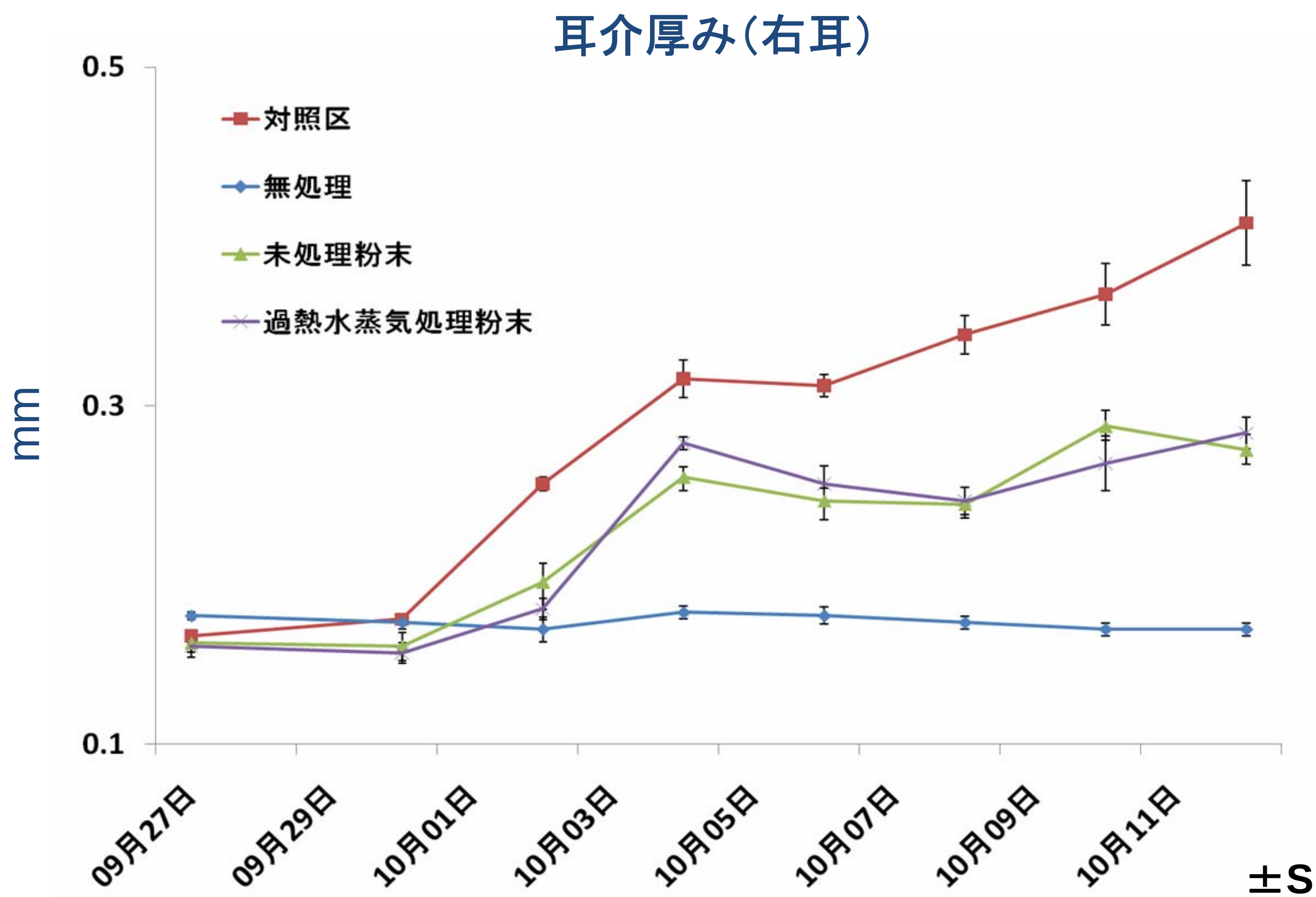
体重変化(9/30～10/12)



±SE（n = 5）

公立大学法人大阪府立大学生物資源循環工学

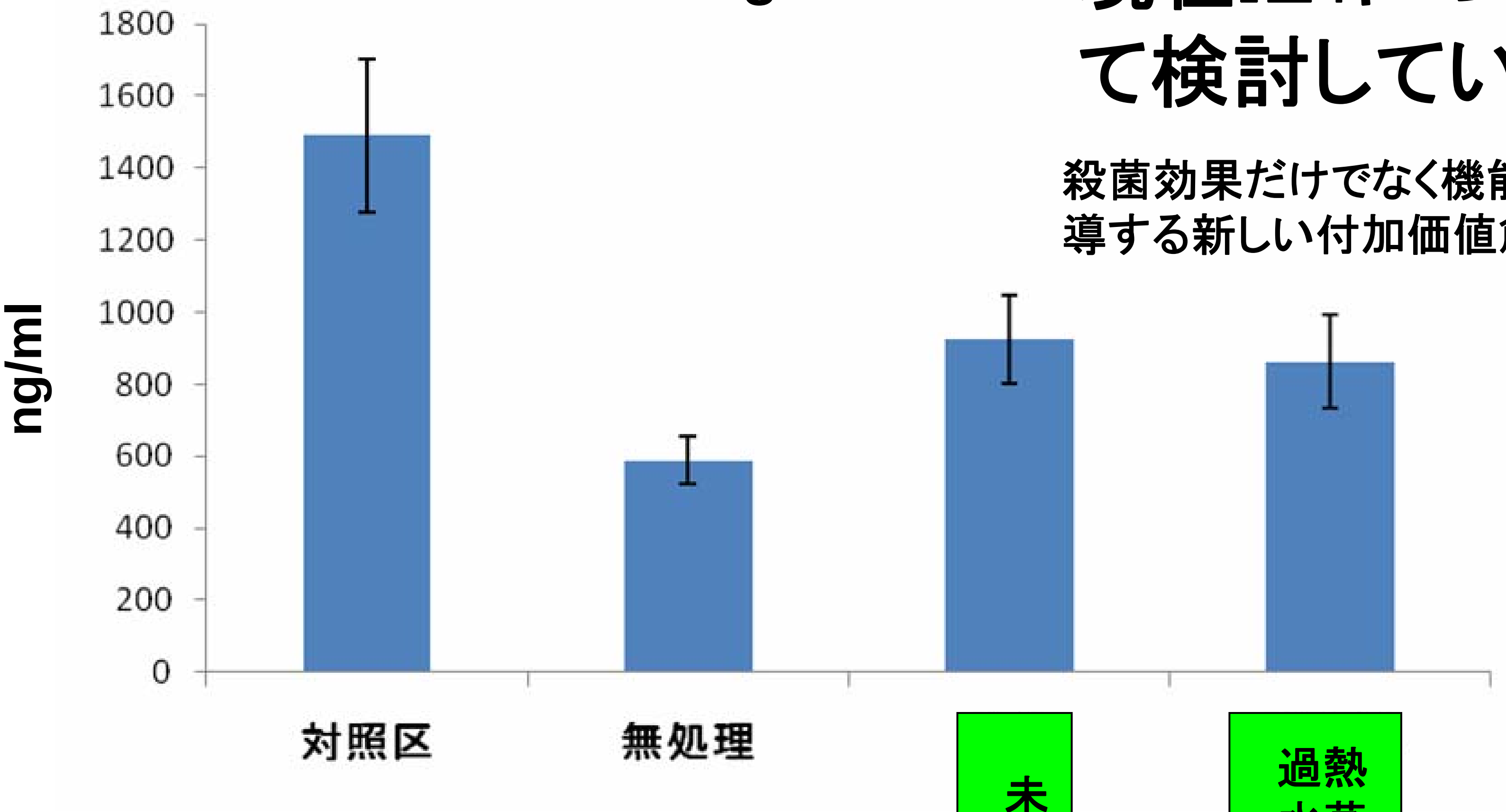
アレルギー抑制作用



±SE（n = 5）

アレルギー抑制作用

血中IgE濃度



未処理

過熱水蒸気

±SE（n = 5）

現在IL4について検討している。

殺菌効果だけでなく機能性を誘導する新しい付加価値創造」

SHAPEをめざせ

LOHASの5大マーケット

頭文字をとって**SHAPE**と呼ばれている

1：**S**ustainable Economy（持続可能な経済）

グリーン都市計画、SRI、省エネ商品、代替エネルギー、フェアトレード等

2：**H**ealthy Lifestyle（健康的なライフスタイル）

自然食品、サプリメント、オーガニック、マクロビオティック等

3：**A**lternative Healthcare（代替医療）

ホメオパシー、アーユルヴェーダ、自然治療、東洋医学、鍼治療、レイキ等

4：**P**ersonal Development（自己開発）

メンタルトレーニング、スピリチュアル、ヨガ、ピラティス、瞑想法、自己啓発、アート、能力開発等

5：**E**cological Lifestyle（エコなライフスタイル）

リフォーム、環境配慮住宅、家庭用品、エコツーリズム等

環境ビジネス分野とその市場性

	年度（2005）	年度(2015年）
市場規模	59兆円	83兆円（43%）
雇用規模	180万人	260万人（45%）
温暖化関連	32兆円	49兆円（54%）
3R関係	25兆円	30兆円（20%）
自然共生・公害関連	2.9兆円	4.8兆円（64%）

この中に綜合産業(農業)は含まれていない。

TPP,EPA,FTA

農業における発想の転換；ローテク・ハイリータン

3M,3Kからの脱却

特に3M(むり、むら、むだ)

価値観の転換

創意・工夫、楽しさ

システムの変革

値段を自分できめる

流通(ロジスティクス)を変える

見える化

儲ける

綜合産業化

SWOT解析

Strength(強み)

Weakness(弱み)

Opportunity(機会)

Threat(脅威)

農業を強くする

社会保障給付金(08年)

94兆円支給

国民一人当たりでは78万円

2.9%毎年増加

ものづくり技術、経営技術、販売技術

発想の転換
（物理の世界を愉快の世界に）

- 水蒸気：気体
- 水：液体
- 氷：固体

- 水蒸気：熱い
- 水：呑みたい
- 氷：冷たい

100歩先の夢を持ちながら半歩先に進もう

知識 ⇒ **智恵**