

【公開版】

平成30年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「超高濃度ウルトラファインバブル（UFB）による
牛乳等飲料の非加熱殺菌装置の研究開発」

研究開発成果等報告書

令和元年5月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 一般財団法人大阪科学技術センター

目 次

第1章 研究開発の概要	……………3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	
(1)研究目的	
1-1-1 本研究開発の高度化目標	……………4
1-2 研究体制	
(1)履行体制図	
(2)共同研究機関	
(3)アドバイザー	……………5
1-2-1 実施場所等	
①事業管理機関	
②主たる研究場所「法認定事業者」	
③PL/SL	
1-3 成果概要	……………5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	
第2章 本論	……………7
2-1 研究開発の内容	
【1】非加熱殺菌に要求されるUFB粒径・濃度制御技術の開発	
(1)新ホモジナイザ部の開発	……………8
(2)FB発生部の開発	
(3)バブル圧壊部の開発	
(4)バッファタンクの開発	……………9
(5)制御部の開発	
(6)脱気部の検討	……………10
(7)純水UFB化のUFB粒径・濃度検証	
【2】超高濃度UFBによる殺菌/抗菌と溶存酸素濃度検証	
【2-1】純水UFB化の殺菌/抗菌と溶存酸素濃度検証	
【2-2】牛乳/原乳UFB化の殺菌/抗菌と溶存酸素濃度検証	
【3】牛乳等のUFB安全検査、成分比較/官能比較検査評価	……………11
【3-1】牛乳等飲料のUFB化安全性検査	
【3-2】UFB化成分比較検査ならびに風味検査	
【3-3】牛乳等飲料のUFB化官能比較検査	
【4】超高濃度UFB非加熱殺菌装置の殺菌/抗菌原理解明	
【5】超高濃度UFB非加熱殺菌装置の信頼性検証	
2-2 研究開発の成果	……………12
2-2-1 牛乳等飲料を対象としたUFB非加熱殺菌装置の開発	
2-2-2 本事業で開発したUFB粒径濃度制御の一例	
①NanoSight NS-300による粒径濃度計測	
②AFM(原子間力顕微鏡)での計測	
2-3 市販飲料に含有するUFB粒径濃度計測	……………13
2-4 殺菌評価事前課題対応	
2-4-1 事前滅菌における非加熱殺菌装置内の蒸気凝集液削減	
2-4-2 原乳を含む牛乳の低温移送管理	

2-5	ラットによるUFB化安全性試験報告	14
2-6	原乳のUFB化による外観評価	
2-7	牛乳のUFBによる粘度の変化（同志社女子大学）	15
2-8	殺菌抗菌関連評価	16
2-8-1	暫定評価装置による殺菌効果検証（北海道大学）	
2-8-2	本研究開発による非加熱殺菌装置での評価	18
	(1)ファインバブルによる殺菌効果	
	①腸炎ビブリオの殺菌効果	
	②大腸菌の殺菌効果	
	③黄色ブドウ球菌の殺菌効果	
	④セレウス菌（栄養細胞）の殺菌効果	
	(2)従来型非加熱殺菌技術併用での殺菌効果	20
	①紫外線による殺菌効果	
	②オゾンUFBによる殺菌効果	
	③ファインバブル圧壊＋紫外線殺菌併用法での殺菌効果	
2-8-3	三重大学	21
	①重点的に実施した事項	
	②超高濃度UFB非加熱殺菌装置の殺菌/抗菌原理解明	
	③塩化ナトリウム添加効果(スポーツ飲料・経口補水液を想定)	
	④次亜塩素酸の関与の否定	
	⑤エタノールの添加効果(アルコール飲料を想定)	
	⑥ショ糖の添加効果(果汁飲料を想定)	
	⑦殺菌効果に及ぼすFB濃度の影響	
	⑧乳タンパク質汚れに対する洗浄作用の検証	
2-9	UFB化による成分比較/官能比較/微生物検査評価	27
2-9-1	原乳のUFB化による成分比較/官能比較/微生物検査評価	
	①成分検査/官能検査	
	②微生物検査	
	③処理後の温度管理	
	④原乳UFB化時の粒度分布と風味の相関	
2-9-2	緑茶、オレンジジュースのUFB化による成分比較/官能比較検査評価	32
	①緑茶のUFB化による成分分析	
	②オレンジジュースのUFB化による成分分析	
	③緑茶のUFB化による官能比較	
	④オレンジジュースのUFB化による官能比較	
2-10	超高濃度UFB非加熱殺菌装置の信頼性評価	33
第3章	全体総括	34
3-1	補助事業の成果及びその効果	
3-2	補助事業の成果に係る事業展開	
3-3	事業化に向けた基本方針	35

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究開発の背景・研究目的及び目標は中小企業ものづくり高度化法及び中小ものづくり高度化指針に基づいて、以下のとおりである。

(1)研究目的

牛乳等飲料の殺菌処理は日本では90%以上が超高温瞬間殺菌法である。超高温瞬間殺菌法は耐熱性菌の殺菌はできるが、原乳に含有されるビタミンD、Eが熱処理過程で失われ、カルシウムの中でも消化性の高いイオン状カルシウムも消化性の悪いコロイド状カルシウムに変質。消化吸収の良いホエイタンパク質の大半も変質しアミノ酸の一部も減少するため低品質の特殊牛乳として扱われ、更に高温処理のため発がん性の過酸化水素を生成する。

一方海外では低温殺菌法が一般的であるが、耐熱性菌が殺菌できないため長時間保存ができない。これらの課題を解決し、原乳等飲料に本来含まれているビタミン類やアミノ酸等旨み成分の低減を最少化し、一般生菌の大幅低減と芽胞菌等耐熱性菌や大腸菌群等を滅菌できる牛乳等飲料の超高濃度UFB化で非加熱殺菌/抗菌技術を開発し賞味期限の大幅延長を図る。

○従来技術と新技術の比較

<p>従来技術「加熱殺菌法」</p> <ul style="list-style-type: none"> 超高温殺菌法(130℃～、2秒) 高温殺菌法(72℃～75℃、15秒) 低温殺菌法(63℃、30分以上) 	<p>新技術「非加熱殺菌法」</p> <ul style="list-style-type: none"> 牛乳等飲料を超高濃度UFB化することで、UFB生成時に発生するバブル圧壊エネルギーによる殺菌効果と誘電分極する水酸基等の抗菌効果を活用した非加熱殺菌技術。
--	---



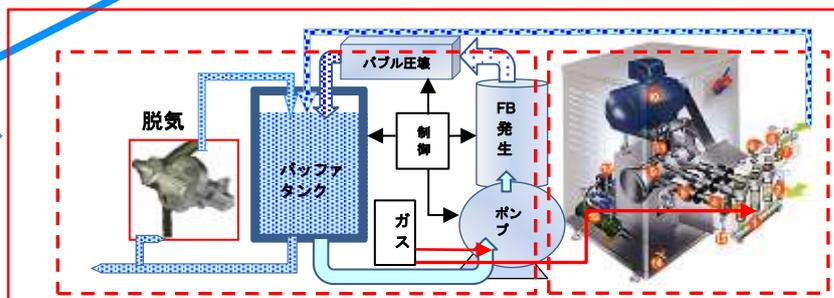
<図1>牛乳の製造工程

<図2> 従来技術(加熱殺菌)



プレート式熱交換器 ホモジナイザ部

<図3> 新技術(非加熱殺菌)



非加熱殺菌主要構成要素

ホモジナイザ+前段F B機能

<表1> 従来技術の課題と新技術の特徴

比較項目	従来技術(加熱殺菌法)の課題	新技術(非加熱殺菌法)の特徴
①成分	ビタミンC、D、Eの消失。 消化の悪いコロイド状カルシウムに変質。 ホエイタンパク質やアミノ酸も大幅低減。 硫化物を生成し牛乳本来の香り消失。	ビタミンC、D、Eの消失無し。 ホエイタンパク質の変質やアミノ酸の低減も極小化できる。 牛乳等本来の香り維持。
②保存技術	芽胞菌等耐熱性菌の殺菌ができないので長時間保存不可。(低温殺菌法等)	耐熱性菌も殺菌でき、抗菌効果付与により比較的長時間の保存が可能。
③臭い、香り等	加熱による焦げ臭や香り変質	非加熱殺菌のため加熱による焦げ臭や変質なし。
④設備価格	高価(蒸気発生器等ボイラ設備要)	安価(当該設備のみ)
⑤安全性	発がん性の過酸化水素生成。(超高温殺菌法)	非加熱殺菌のため発がん性物質生成せず。
⑥ガス置換効果	牛乳に酸素が溶存するため噴霧によるガス置換。水溶液中の溶存酸素置換は低い。	バッファタンクへの加圧置換と超高濃度UFB化で溶存酸素量を大幅低減。

1-1-1 本研究開発の高度化目標

本研究開発は、「中小企業の特定期ものづくり基盤技術の高度化に関する指針」の下記の事項に相当する。

- (四) 製造環境に係る技術に関する事項
- 1 製造環境に係る技術において達成すべき高度化目標
 - (4) 川下分野特有の事項
 - 4) その他の川下分野に関する事項
 - a. 食品分野に関する事項

平成27年 環太平洋戦略的経済連携協定（TPP）基本合意により安価な輸入製品が大量に出回ることが予想され、その対抗策として消費者ニーズ（安全面、嗜好・生理機能等）に合致した食品の高付加価値化が求められている。

このため、牛乳等飲料の食材を本来の成分と旨み、味覚、香りを維持しながら飲みやすく長持ちをする究極の殺菌技術開発が重要な課題であり、本提案テーマである非加熱殺菌技術開発により牛乳等飲料の食材本来の高機能性、高付加価値性を引き出すことが可能。これにより、販売価格向上ひいては、生産者である酪農家等の取り組み意欲向上にも繋がり、世界に冠たる高品質な農林水産物や食品を生み出し「JAPANブランド」の確立・推進への下支えで「戦略市場想像プラン（世界を引き付ける地域資源で稼ぐ地域社会の実現）」に寄与することも可能となる。

特に、震災等で牛乳等飲料の出荷が一時的対応不可となった場合にも、本開発技術活用で原乳等を長時間保持できる可能性があり、災害時の経済損失を軽減できる道も開ける。

この非加熱殺菌技術確立のために解決すべき研究課題は以下のとおり。

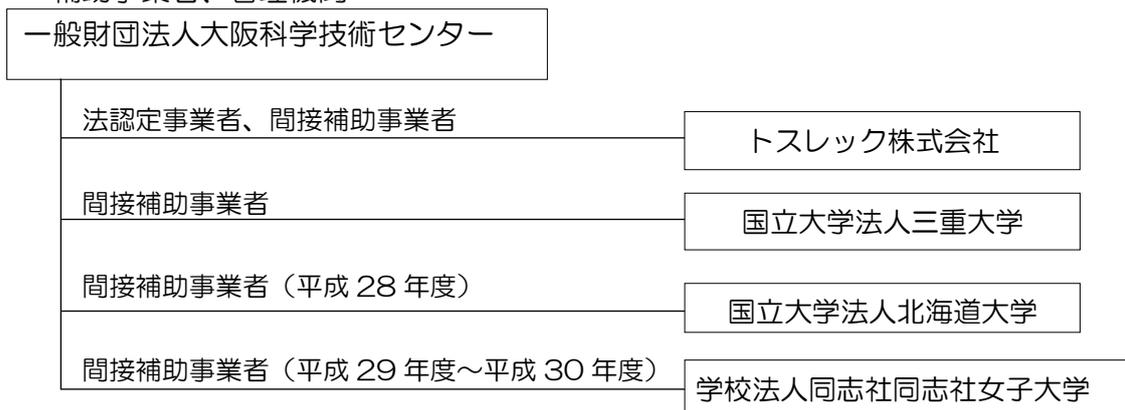
- 【1】非加熱殺菌に要求されるUFB粒径・濃度制御技術の開発
- 【2】超高濃度UFBによる殺菌/抗菌効果検証
- 【3】牛乳等の成分比較/官能検査評価
- 【4】超高濃度UFB非加熱殺菌装置の殺菌/抗菌原理解明
- 【5】超高濃度UFB非加熱殺菌装置実用化検証

1-2 研究体制

研究組織・管理体制は以下のとおり。

(1) 履行体制図

補助事業者、管理機関



(2) 共同研究機関

共同研究機関名	共同研究者	役割
国立大学法人三重大学	大学院生物資源学研究科海洋微生物学研究室教授 福崎 智司	殺菌検証、UFB殺菌理論確立
国立大学法人北海道大学	大学院農学研究院食品加工工学研究室准教授 小関 成樹	暫定UFB発生装置殺菌検証
学校法人同志社同志社女子大学	生活科学部食物栄養科学科調理学研究室教授 真部 真里子	UFB安全性評価検討、官能評価検討

(3) アドバイザー

企業名	役割
サツラク農業協同組合	原乳/加工乳提供、牛乳成分分析、官能評価、微生物評価
一般財団法人日本食品分析センター	UFB安全性評価、飲料の成分分析
一般社団法人ファインバブル産業会	ファインバブルに関する知見
三丸機械工業株式会社	牛乳殺菌装置製作、UFB化性能向上
I 株式会社	食品機械の一般的知見
S 株式会社	飲料応用知見

1-2-1 実施場所等

① 事業管理機関

一般財団法人大阪科学技術センター
 (最寄り駅：地下鉄四つ橋線本町)
 〒550-0004
 大阪府大阪市西区靱本町 1 丁目 8 番 4 号

② 主たる研究場所「法認定事業者」

トスレック株式会社 本社研究開発部 (旧名称) 新：ファインバブル事業部
 (最寄り駅：JR 京都線西大路駅 株式会社 GS ユアサ 北門近く)
 〒601-8303
 京都府京都市南区吉祥院西ノ庄西中町 4 6 番地の 2

③ PL/SL

PL：トスレック株式会社 研究開発部長 中尾 順次

SL：国立大学法人三重大学 大学院生物資源学研究科海洋微生物学研究室 教授 福崎 智司

1-3 成果概要

委託業務期間 (H28 年度～H30 年度) における研究開発の目標と内容		達成状況			
【1】非加熱殺菌装置に要求される UFB 粒径・濃度制御技術の開発		トスレック株式会社			
UFB 粒径：100nm 前後 バブル濃度：1000 万個/ml～ 脱気性能：溶存酸素濃度 0.4ppm 未満		UFB 粒径：70nm～180nm バブル濃度：700 万個/ml～30 億個/ml 脱気性能：0.01ppm			
【2】超高濃度 UFB による殺菌/抗菌と溶存酸素濃度		トスレック株式会社			
対象菌	殺菌能力/溶存酸素濃度他	低濃度オゾン他	達成度	原乳 (N2)	達成度
セレウス菌	10 ³ 以上	検出限界以下	100%	—	—
牛乳耐熱性菌数 (35℃)	100CFU/ml Max (原乳)	—	—	60 CFU/ml Max	100%
耐熱資金数 (55℃)	100CFU/ml Max (原乳)	—	—	60 CFU/ml Max	100%
一般生菌	50,000CFU/ml Max (原乳)	—	—	13,400 CFU/ml Max	100%
大腸菌	陰性 (原乳)	検出限界以下	100%	46 以下	60%
黄色ブドウ球菌	10 ³ 以上	検出限界以下	100%	—	—
腸炎ピブリオ	10 ³ 以上	検出限界以下	100%	—	—
溶存酸素濃度	0.4ppm 未満	0.1ppm 未満	100%	—	—
【3】牛乳等の安全性検査、成分比較/官能比較検査評価		トスレック株式会社 (同志社女子大学協力)			
【3-1】UFB 化安全性検査 ラットによる安全確認検査 (OECD TG420 による) (圧縮空気、窒素、酸素、二酸化炭素、水素、一酸化窒素)		<ul style="list-style-type: none"> 水道水の UFB 化/ロングライフ牛乳の UFB 化 市販飲料に含有する UFB 粒径濃度計測 			
評価項目	達成状況	達成度			
体重変化	体重変化：無し	100%			
異常行動	異常行動：認められず	100%			
解剖検査	解剖検査：内臓疾患無し	100%			
LD50 値	LD50 値：20mg/kg を超える。	100%			

【3-2】成分比較検査	トスレック株式会社		
①牛乳：乳等省令の基準範囲（粘性は基準値無し）	（粘性変化を除く）		
脂肪分：3.0%以上	3.31 以上		100%
無脂乳固形分：8.0%以上	8.40%以上		100%
酸度：0.18%以下	0.17 以下		100%
比重：1.028~1.034	全て基準範囲以内		100%
粘性変化（UHT、LTLT、UFB 温度、処理法による粘性比較評価）	同志社女子大学		100%
②緑茶			
UFB化前後で変化が10%以内	UFB 化前	UFB 化後	達成度
総アスコリビン酸	23mg/100g	23mg/100g	100%
テニアン	5mg/100g	5mg/100g	100%
タンニン	0.06g/100g	0.06g/100g	100%
無水カフェイン	0.013g/100g	0.012g/100g	100%
エピガロカテインガレート	6.6mg/100g	6.6mg/100g	100%
③オレンジジュース（濃縮還元ジュース）			
UFB化前後で変化が10%以内（客観的基準なし）	UFB 化前	UFB 化後	達成度
カリウム	188mg/100g	183mg/100g	100%
チアミン(ビタミンB1)	0.07mg/100g	0.07mg/100g	100%
ビタミンB6	0.057mg/100g	0.055mg/100g	100%
総アスコルビン酸(総ビタミンC)	30mg/100g	29mg/100g	100%
葉酸	19 μ g/100g	19 μ g/100g	100%
β -クリプトキサンチン	113 μ g/100g	106 μ g/100g	100%
ヘスペリジン	46mg/100g	42mg/100g	100%
【3-3】官能比較検査	トスレック株式会社（同志社女子大学協力）		
【3-3-1】外観検査/風味検査	UFB 化前後で明らかな差異の有無を確認		達成度
①牛乳のUFB化			
i 外観検査	明らかな差異は無い。		100%
ii 風味検査	UFB 化後風味：3 大腸菌を含む一般細菌の殺菌不十分が原因		60%
②緑茶UFB化			
i 外観検査	明らかな差異は無い。		100%
ii 風味検査	明らかな差異は無い。		100%
③オレンジジュース（濃縮還元ジュース）			
i 外観検査	明らかな差異は無い。		100%
ii 風味検査	明らかな差異は無い。		100%
【4】超高濃度UFB非加熱殺菌装置殺菌/抗菌原理解明	三重大学 北海道大学（H28年度のみ）		達成度
【4-1】超高濃度UFB非加熱殺菌装置殺菌/抗菌原理解明	原理解明のための殺菌効果検証。		100%
【4-2】乳タンパク汚れに対する洗浄作用の検証	殺菌抗菌原理推定 洗浄効果確認（明確な洗浄効果有り）		100%
【5】超高濃度UFB非加熱殺菌装置の信頼性検証	トスレック株式会社		達成度
	バブル圧壊装置の液漏れ以外無し。 超音波加振で溶接部のクラックを特定。 改良法を検討し、試作評価後問題の無いことを確認。		100%
その他 本研究開発に係る特許出願等	トスレック株式会社		100%
	特許出願：8件 特許権確立：国内1件、海外1件（台湾） 外国特許PCT出願：1件/米国、欧州、台湾、韓国、中国 国内移行手続き済み。全件とも中間処理対応済み。		

1-4 当該研究開発の連絡窓口

トスレック株式会社 ファインバブル事業部 中尾 順次
 電話：075-314-2418
 FAX：075-314-2416
 E-mail：nakao@tosslec.co.jp

第2章 本論

2-1 研究開発の内容

低温殺菌市販牛乳への菌添加によるUFB化事前検証での殺菌・抗菌効果を踏まえ、目標とする殺菌・抗菌効果を獲得するため出願済み特許 名称:ナノバブル製造装置(PCT/JP2015/059107)と超高濃度ファインバブル粒径・濃度制御技術及び関連ノウハウを活用し、以下の研究開発を実施。

【1】非加熱殺菌に要求されるUFB粒径・濃度制御技術の開発(平成28年度～平成29年度実施)

[トスレック株式会社]

UFBの粒径・濃度の測定は NanoSight 社 型 NS-300 ブラウン運動粒径濃度計測装置を使用。超高濃度UFB非加熱殺菌装置の概要は以下のとおり。

オゾン発生器 (*1)、蒸気発生器 (*2) : CIP/SIP 初期洗浄殺菌と事後洗浄殺菌用
冷却部 (*3) : 構成要素の冷却水を一定温度に生成。

(1)新ホモジナイザ部 : 牛乳等飲料の既存ホモジナイザ機能に前段のFB発生機能を付加した装置。

(2)FB発生部 : 2 μ m以下のマイクロバブルを発生する機能で一部にUFB成分も含有。

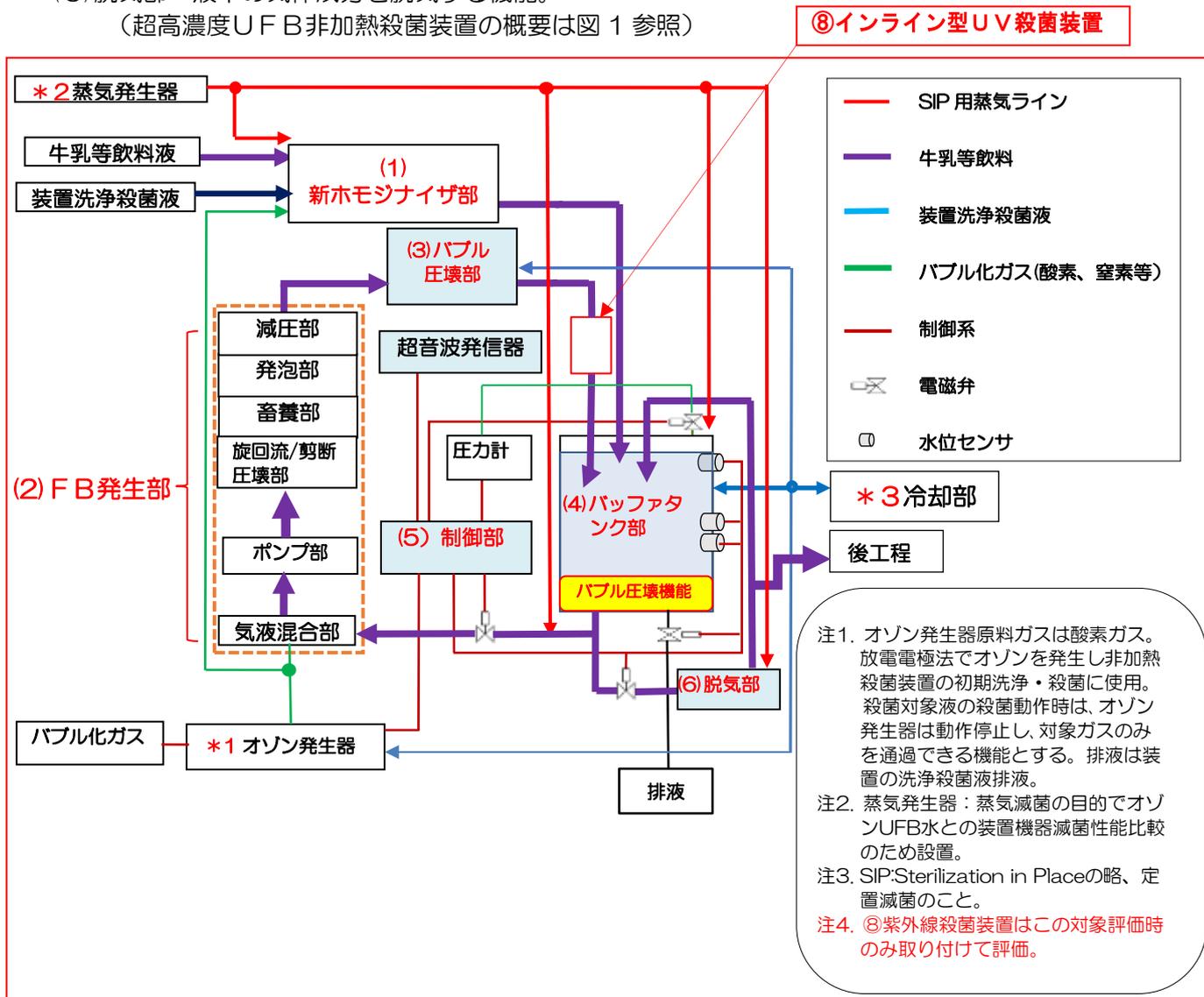
(3)バブル圧壊部 : FB発生部で発生したFBを微細均一超高濃度UFBに連続圧壊する機能。

(4)バッファタンク部 : バブル圧壊部で生成したUFB/FBを分離しUFBを超高濃度化する循環と濃縮機能で、バブル圧壊機能付きタンクを含む。

(5)制御部 : 超高濃度UFB化殺菌装置全体の制御機能とUFB/FBの自在粒径・濃度設定制御機能。

(6)脱気部 : 液中の気体成分を脱気する機能。

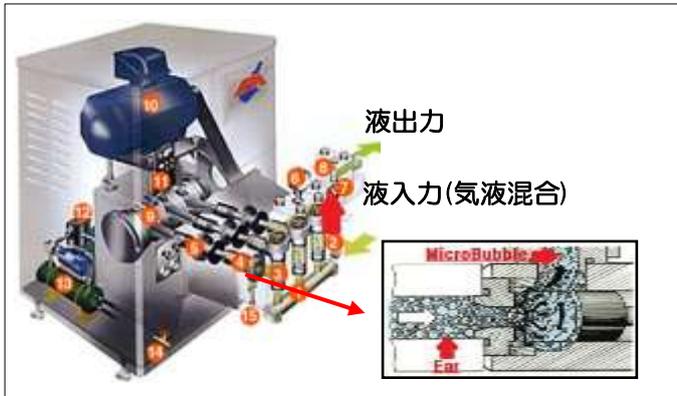
(超高濃度UFB非加熱殺菌装置の概要は図1参照)



<図1> 超高濃度UFB非加熱殺菌装置の概要

(1) 新ホモジナイザ部の開発

- 新ホモジナイザ部は原乳から飲料(高粘性液体)までを対象に1~10 μ mの脂肪球を風味と味覚アップを目的として1 μ m前後に均一に粉碎するための圧力の決定とFBを発生させるFB発生機能を付加するために、プランジャー前段からバブル化ガスを導入することを検討する。
概略イメージは図2、表1を参照。



<図2> 新ホモジナイザ部

- | | |
|------------|---------|
| ①吸引ブロック | ⑦1段ディスク |
| ②シリンダーブロック | ⑧2段ディスク |
| ③吸込吐出バルブ | ⑩駆動モータ |
| ④スリーブ | ⑭冷却水入口 |
| ⑤プランジャー | ⑮冷却水出口 |
| ⑥均質圧力計 | |

<表1> ホモジナイザ構成部名称(一部省略)

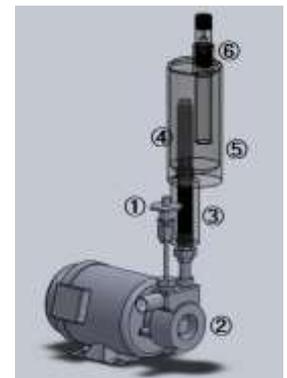
(2) FB発生部の開発

FB発生部は次のモジュールより構成。気液混合部、ポンプ部、旋回流/剪断圧壊部、畜養部、発泡部。

- 気液混合部:バブル化対象ガスと牛乳等殺菌対象液を混合。
- ポンプ部:ガスの負圧吸引と旋回流・剪断圧壊部以降に気液混合液を加圧供給。
- 旋回流・剪断圧壊部:気液混合液体の流速を加速、剪断圧壊することでバブルの気泡核を生成。
- 畜養部:バブルの気泡核を一定限度容器内で畜養することで保有電荷量、ゼータ電位を均一化。
- 発泡部:マイクロバブルを発泡する機能で、前段に再加圧機能を有する構造。
- 流体力学シミュレータ(流れ場解析モデル)を導入し、レイノルズ数を最大化するポンプ吐出圧(1.1MPa Max)、配管径を決定する。これを元に試作条件を考慮して、FB濃度最大値となるよう開発する。スケルトンモデル(ポンプ部を除く)を製作し異常滞留のないことを確認する。

(表2、図3参照)

モジュール名	試作条件
①気液混合	ガス流量:液体流量の1/20を想定。
②ポンプ部	吐出圧
③旋回流部	旋回流回転数
④剪断圧壊部	圧壊段数
⑤畜養部	畜養量
⑥発泡部	形状



注:③と④は一体モジュール構造、⑤、⑥は個別単体モジュール構造で検討

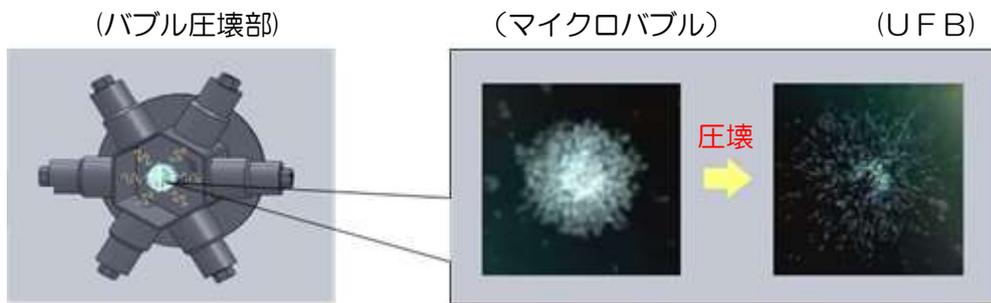
<表2> FB発生部 試作条件

<図3> FB発生部

(3) バブル圧壊部の開発

FB発生部で生成した超高濃度マイクロバブルを特許出願中の超音波圧壊場を活用し超高濃度UFBを生成する機能で最終目標とするUFB粒径30nm~、UFB濃度100億個/mlを達成する機能を実現するため以下の検討を行う。スケルトンモデルを製作し圧壊現象状態の確認後、実機製作。

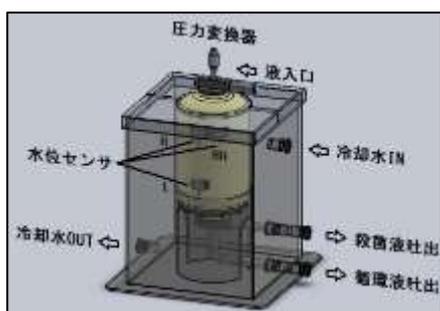
- 圧壊部の方式:特許出願中の超音波圧壊場を活用したバブル圧壊部で水冷式。
- 圧壊位置の検討:流体力学シミュレータ(流れ場解析モデル)を活用し、配管径、圧壊配置位置等にレイノルズ数をパラメータとして液圧力変化が最大となる位置を推定する。
- 圧壊部の振動子配列、加振電力、加振周波数、位相等を決定する。決定項目は表3、図4による。各項目別検討要素としてUFBバブル粒径・濃度との関係を求める。



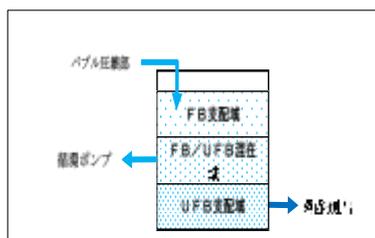
<図4>バブル圧壊によるマイクロバブル⇒UFB化

(4) バッファタンクの開発

- バッファタンクはガスリークをなくすため気密性円筒型圧力タンク構造を検討する。その際、サニタリー性、コスト、メンテナンス性を考慮する。
- スケルトンモデルを製作し、異常滞留や牛乳等でミリバブル以上の異常発泡のないことをタンク外部より確認し試作する。(図6、図7参照)
- 冷却装置を導入し、循環液がFB発生部のポンプで加温されても即時冷却できる様、熱交換特性を考慮しバッファタンクの材質と冷却液の流れ方向を検討する。
- 芽胞菌等耐熱性菌の圧力変化による物理的殺菌効果を想定し、実効圧力変化に対応するタンク耐圧を検討する。
- 殺菌液吐出部(処理済み)には減圧弁を設け、急激な圧力変化によってガス発泡とならない(脂肪球が油分に分解しない)工夫を施す。



<図6> バッファタンク



<図7> FB/UFBのタンク内分布と吐出部

(5) 制御部の開発

超高濃度UFB殺菌装置全体を制御し、芽胞菌等耐熱性菌を含めて非加熱殺菌に最適で、目標とするUFB粒径・濃度設定制御機能を開発。MMI (PT:パラメータ設定機能)とIO制御機能(PLC:設定制御機能)を開発し、殺菌条件が画一的に定まるよう制御部を開発。構想設計によるシミュレーションを実施後、詳細設計を行う。具体的には、フィードフォワード制御法と定置制御法(バッファタンク温度と冷却温度)及び成立条件制御(バッファタンクレベル制御、アラーム制御)を活用する。主制御要素(圧力制御と超音波制御)は特にバブル粒径・濃度の高精度性に着目して開発。(表4参照)

殺菌対象物 牛乳、原乳、飲料	}	殺菌対象物の殺菌
		① バッファタンク制御要素
		i バッファタンク圧力制御: (ガス圧力センサ) [液吸引時圧、運転時最高・最低圧、ガス流量制御、タンク圧力弁制御等]
		ii バッファタンク液温度制御: (温度センサ) [液温度定置制御]
		iii 循環液流量制御 : (液流量センサ) [インバータ制御による流量制御法]
		② バブル圧壊部制御要素
		i 超音波加振電力制御: (発信器加振電力) [電力制御]
		ii 超音波周波数制御 : (発信器周波数制御) [周波数スイープ法]
		③ 稼働法制御 : (連続運転制御、間欠運転制御) [制御パターン設定法]
		④ 運転時間制御 : トータル運転時間管理

注1 : 赤字 : センサからの出力、青字 : 制御対象への出力、[***] : 制御法を示す。

<表4> 殺菌対象物に最適な制御法開発の主要殺菌条件の検討項目

(6) 脱気部の検討

脱気部は牛乳等飲料に含まれている溶存気体成分を殺菌対象液から除去することで食材本来の味覚や風味を維持する。溶存気体のガス成分排除により超高濃度UFB殺菌装置の殺菌能力を極限まで向上させる溶存酸素濃度を目標値をクリアできるユニットを選定する。(写真1参照)



<写真1>インデューサ型脱気装置

(7) 純水UFB化のUFB粒径・濃度検証

(1)～(6)で開発した超高濃度UFB非加熱殺菌装置を用いてUFBバブル粒径・濃度制御性能を検証し、目標とする粒径・濃度が達成できているかどうかをブラウン運動移動時間計測法等の計測器を用いて評価する。対象液：純水 バブル化ガス：N₂、O₂、CO₂、NO、H₂、CDA

殺菌ガス種	N ₂	O ₂	CO ₂	NO	H ₂	CDA
N ₂ 置換処理	なし	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
バッファタンク圧力 (MPa)	0.01～1.0	0.01～0.60	0.01～0.40	0.01～0.40	0.02～0.60	0.02～0.55
バブル粒径・濃度範囲 注1	○	×	○	○	○	△

注1：③研究開発の高度化目標及び技術的目標値による判定。

<表5> 組み合わせ表のイメージ(例)

【2】超高濃度UFBによる殺菌/抗菌と溶存酸素濃度検証

【2-1】純水UFB化の殺菌/抗菌と溶存酸素濃度検証(平成29年度～30年度)[トスレック株式会社]

①事前評価

前項で開発した超高濃度UFB非加熱殺菌装置を用いて以下の条件で殺菌効果、抗菌効果と菌採取時のバブル粒径・濃度を計測する。

条件：純水、菌種：セレウス菌/一般大腸菌(個別評価)、菌添加率：25ml/10L

バブル化ガスUFB化ガス：H₂、O₂、CO₂、NO、N₂、CDA

・検査キット：37mmクオリティモニタ(写真2参照)で仮評価し、対象ガスを絞り込んで最終評価。



<写真2> 37mmクオリティモニタ

・培養時間：37℃ 48時間培養後菌数を測定。殺菌時間:30分、60分、80分

・抗菌評価:初期値、5日後、5日後、10日後、15日後、20日後、30日後、40日後、50日後、60日後。

②評価

評価は以下仕様で実施。

条件：上記①による。但し、バブル化ガスは上記①評価結果で殺菌効果の高い上位2種に限定。

機 関：日本食品分析センター 菌培養法：標準平板培養法。 殺菌時間:30分、60分

抗菌評価:初期値、5日後、10日後、15日後、20日後、30日後、40日後、50日後、60日後。

バブル粒径・濃度測定：バブル粒径・濃度が殺菌、抗菌効果に与える影響評価のため菌採取時に同時にバブル粒径・濃度を測定。抗菌評価：菌数最大値：10⁴個/ml。

溶存酸素濃度評価:N₂以外のバブル化は殺菌対象ガスで殺菌処理後、N₂で置換処理後評価。

【2-2】牛乳/原乳UFB化の殺菌/抗菌と溶存酸素濃度検証(平成29年度～30年度)[トスレック株式会社]

【2-1】の純水を牛乳、原乳に置き換えて評価検証を実施。但し、評価対象ガスは【2-1】の殺菌効果上位2位に限定。

評価機関:日本食品分析センター 菌培養法：標準平板培養法。

抗菌評価：菌数最大値：牛乳：10⁴個/ml 原乳：10⁵個/ml 一般大腸菌：陰性

【3】牛乳等のUFB安全検査、成分比較/官能比較検査評価(平成28年度～平成30年度)[トスレック株式会社、学校法人同志社同志社女子大学]

- ①初年度:手法の検討
- ②次年度:市販牛乳のUFB化安全性検査

【3-1】牛乳等飲料のUFB化安全性検査 トスレック株式会社

牛乳等飲料のUFB安全性検査

- ③超高濃度UFB非加熱殺菌装置による窒素置換法での対応。

【3-2】UFB化成分比較検査ならびに風味検査 トスレック株式会社

従来技術(加熱殺菌法)との比較による成分比較検査評価ならびに牛乳についてはIDF(国際酪農連盟)STANDARD99C採点に基づく風味検査。窒素UFB置換法による。

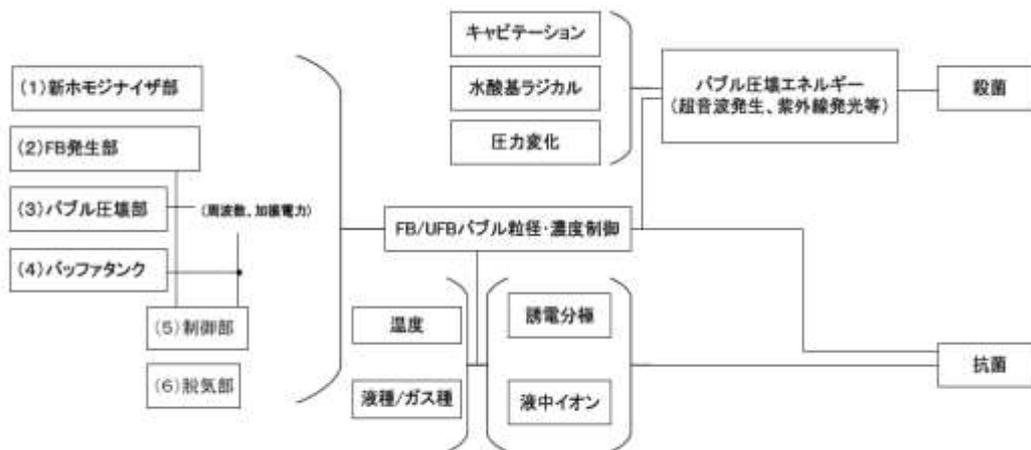
【3-3】牛乳等飲料のUFB化官能比較検査 同志社女子大学

味覚/香り/風味等官能比較検査評価法を検討、予備実験を試行したが、UFB化による殺菌効果に鑑み粘度測定のみ実施。

【4】超高濃度UFB非加熱殺菌装置の殺菌/抗菌原理解明(平成28年度～平成30年度)[国立大学法人北海道大学(H28年度のみ)、国立大学法人三重大学]

下記①～③の評価検証を通じて、殺菌/抗菌原理を解明する。

- ①殺菌/抗菌モデルの作成。
- ②超高濃度UFB殺菌装置を用いて暫定殺菌/抗菌検証実施。
- ③超高濃度UFB殺菌装置の開発完了品による殺菌/抗菌検証。



＜図8＞ 超高濃度UFB殺菌・抗菌原理要因分析表

殺菌/抗菌原理解明結果を超高濃度UFB殺菌装置の制御部フィードフォワード制御条件の影響度評価に反映して最適化チューニングを行う。

評価は初年度(食品用殺菌洗浄装置改造品評価)、次年度:UFB非加熱殺菌装置開発品評価、最終年度:開発完了品評価とする。装置はトスレック株式会社より提供。

【5】超高濃度UFB非加熱殺菌装置の信頼性検証(平成30年度)[トスレック株式会社]

超高濃度UFB非加熱殺菌装置が長時間使用に耐えられるかどうかを確認するために実施する。

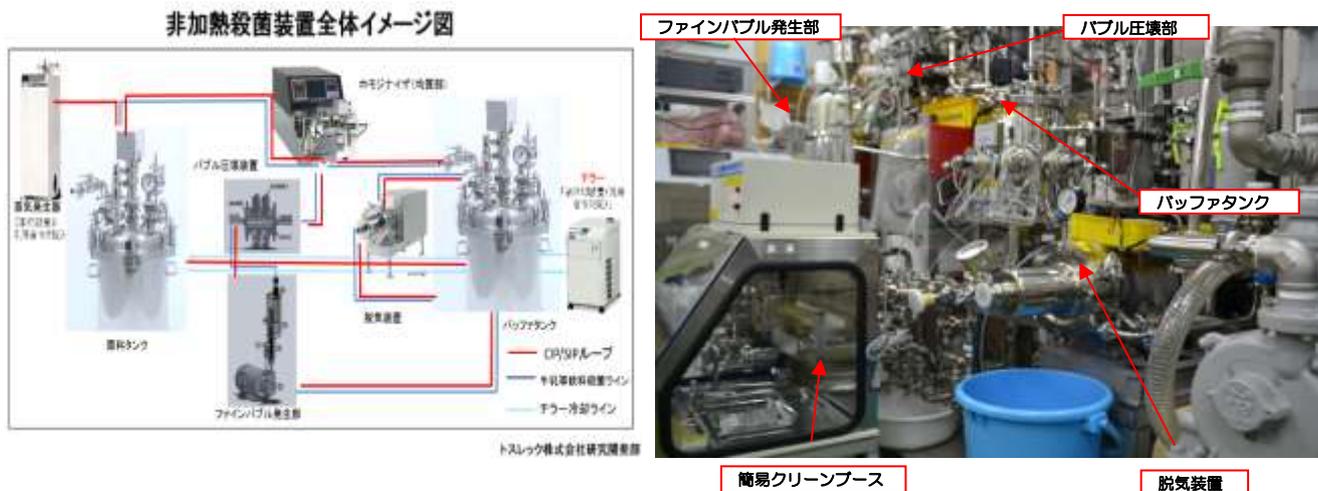
評価項目:6ヶ月継続使用後【2-1】、【2-2】の評価を実施し、目標値を満足すること。

課題発見時は、要因分析を行い装置の信頼性向上対策に活用する。

2-2 研究開発の成果

2-2-1 牛乳等飲料を対象とした UFB 非加熱殺菌装置の開発

本事業で研究開発を行った非加熱殺菌装置の全体イメージと非加熱殺菌装置本体写真を以下に示す。

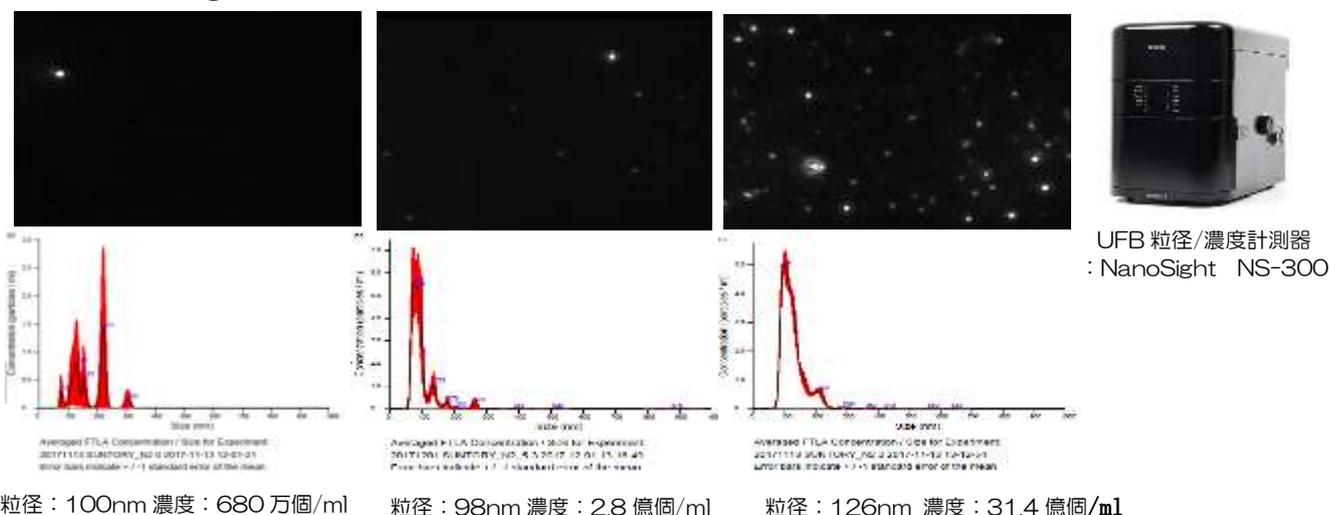


2-2-2 本事業で開発したUFB粒径濃度制御の一例

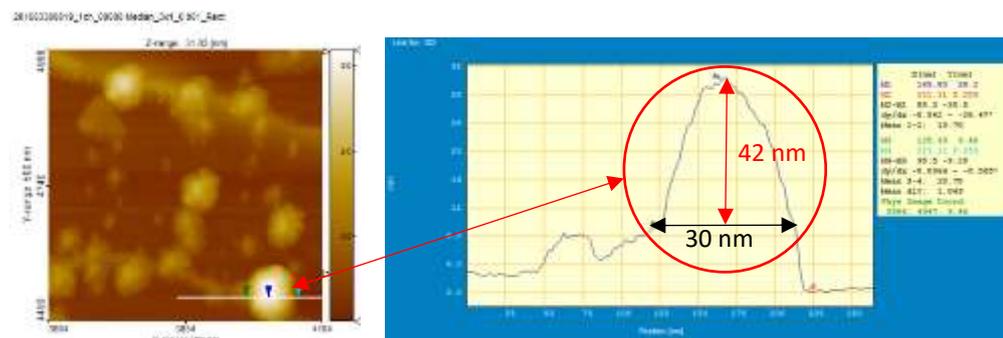
本事業で開発したUFB粒径濃度をナノ粒子トラッキング計測装置 マールバラン製NS-300で計測した粒径濃度制御特性の一例、AFM(原子間力顕微鏡による計測事例を以下に示す。

非加熱殺菌装置のバブル濃度の超高濃度化 (粒径濃度制御技術確立を含む 窒素UFB水の粒径濃度制御事例)

(1) NanoSight NS-300による計測



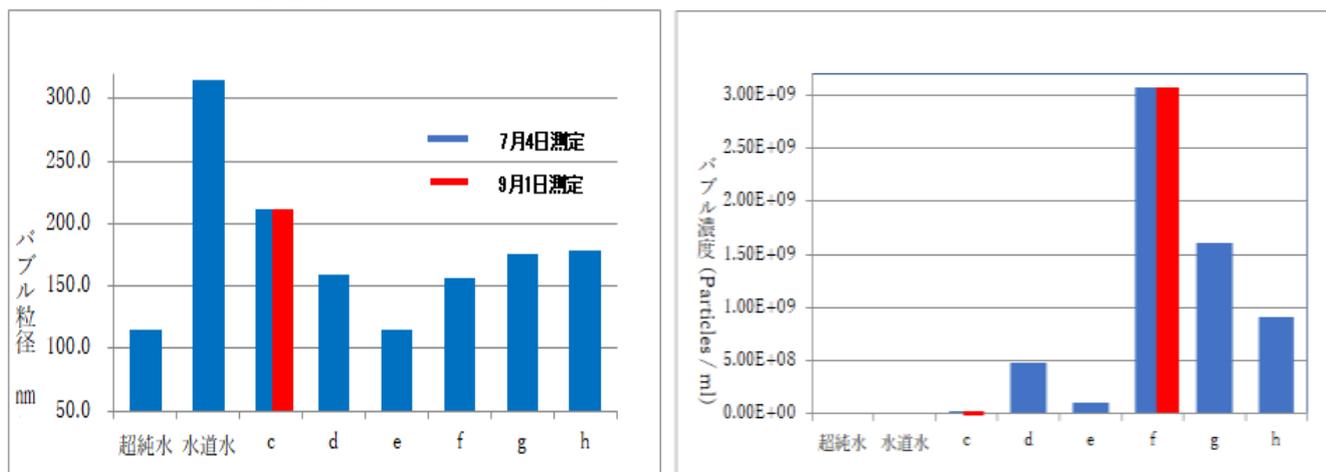
(2) AFM(原子間力顕微鏡)での計測事例



AFM (原子間力顕微鏡) による当社 UFB 画像 (株式会社生体分子計測研究所様ご好意による。)

2-3 市販飲料に含有するUFB 粒径濃度計測

NanoSight NS-300 による市販飲料のUFB 粒径濃度計測と開封後の変化特性を以下に示す。特に、ビールに多いのが特徴的である。本件は、UFBの安全性を示す指標と捉えている。



c : C社天然水、d : D社炭酸水、e : E社アルコールフリービール、f : F社ビール、
g : G社ビール、h : H社特殊ビール
計測機器：NanoSight NS-300 開封後常温維持で、1日クリーンベンチ内に放置後測定。その後、9月1日までクリーンベンチ内で封止して保持し、再度開封して計測。

2-4 殺菌評価事前課題対応

2-4-1 事前滅菌における非加熱殺菌装置内の蒸気凝集液削減

原因：蒸気滅菌時に生ずるスチームトラップ弁開動作時に供給配管が自然冷却される時、配管内減圧作用で排水管からの液逆流現象など。

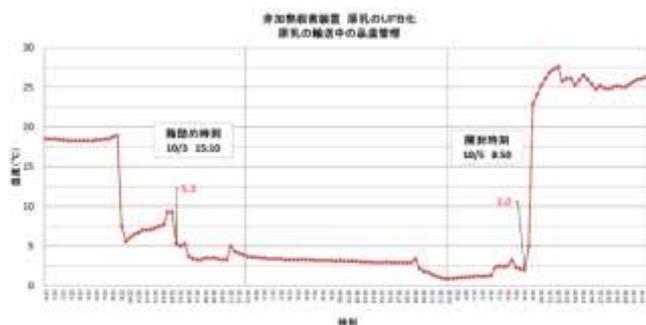
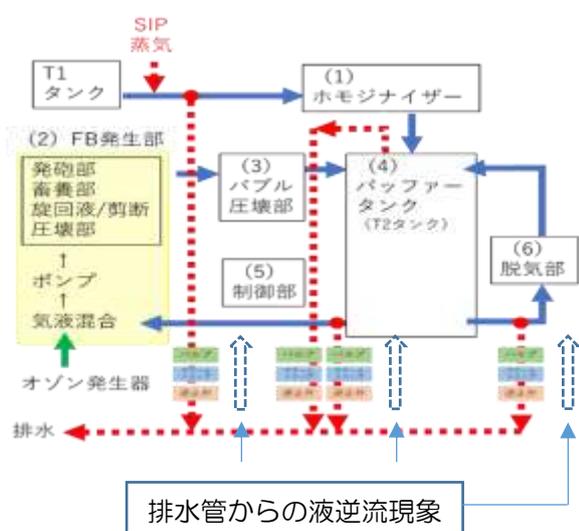
対策：スチームトラップ後段にステンレス製の逆止弁を設ける方法で逆流現象を阻止。

2-4-2 原乳を含む牛乳の低温移送温度管理

原乳を含む牛乳などにおいては、加工前の原料低温維持搬送が基本であり、これを遵守しないと急激なバクテリア繁殖で原料が腐敗する。

本研究開発においては、原乳や加工乳を全て北海道札幌市より搬送するため、この温度管理を確立しておかないと評価すらできない。

W i - f i による定温維持管理法とその活用例を示す。



2-5 ラットによるUFB化安全性試験報告

「(OECD TG420) ラットを用いた単回経口試験結果」
(評価内容は同志社女子大学との共同検討による。)

「評価試験は(一財)日本食品分析センター多摩研究所に委託」
水道水、ロングライフ牛乳共にUFB化での異常数値は認められない。

原水	UFB種	体重変化	異常行動	解剖検査	LD50値
水道水 (京都市)	圧縮空気	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	窒素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	酸素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	二酸化炭素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	水素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	一酸化窒素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える

原水	UFB種	体重変化	異常行動	解剖検査	LD50値
ロングライフ 牛乳	圧縮空気	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	窒素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	酸素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	二酸化炭素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	水素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える
	一酸化窒素	変化なし	異常行動認められず	内臓疾患無し	20ml/kgを超える

2-6 原乳のUFB化による外観評価

原乳をUFB化しても泡立ちをしない工夫をして対応。原乳よりも泡立ちが少ないことを示す。
本研究開発で特許出願済み。

左：UFB化原乳

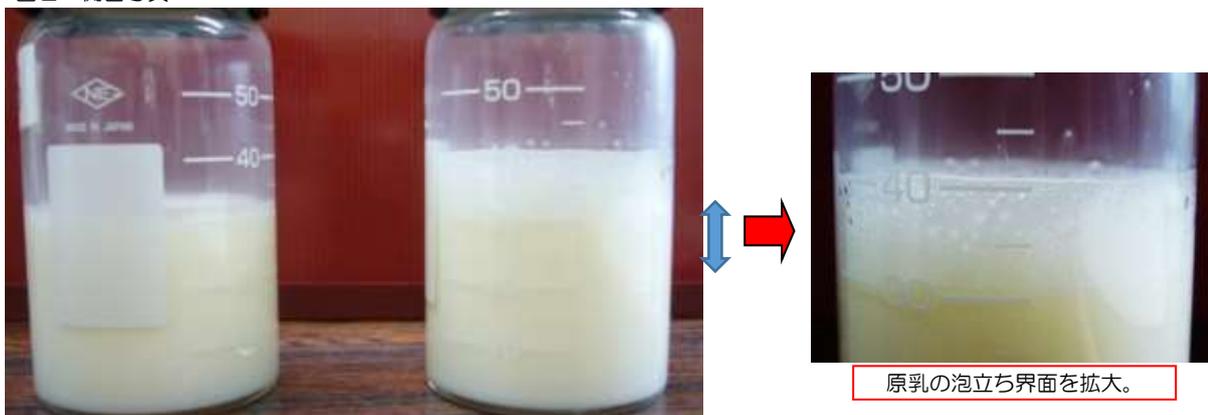
右：原乳

図1 45℃ぐらいに温めた後の表面(上面からの写真)



UFB化原乳外観比較条件は以下のとおり。
45℃前後に温めた後、100回手でシェイク。
・容器のメモリ30mLまで液体を入れて、熱湯を入れた容器に約10分浸し、人肌程度に温めた。
・香りの確認をした後、100回手でシェイク。

図2 側面写真



UFB化原乳は原乳に比較して泡立っていないことが確認できる

2-7 牛乳のUFB化による粘度の変化（同志社女子大学）

同志社女子大学として本事業で以下の研究開発を実施した。

重点的に実施した事項

当初、味覚/香り/風味等官能比較検査評価法を検討、予備実験を試行したが、UFB化による殺菌効果に鑑み協議の結果、牛乳の粘度測定のみ実施。

牛乳のような液状食品では、その粘度は食感要素として重要な意味をもつ。高温処理によりタンパク質が熱変性し凝固することから、殺菌法のちがいが粘度に影響を及ぼすと考えられる。そこで、供卓温度に近い5°C、10°Cにおける粘度を測定した。

【試料】

以下4種の試料を用いた。（試料名の記号 A _ B : Aは殺菌法、Bは原乳の種類）

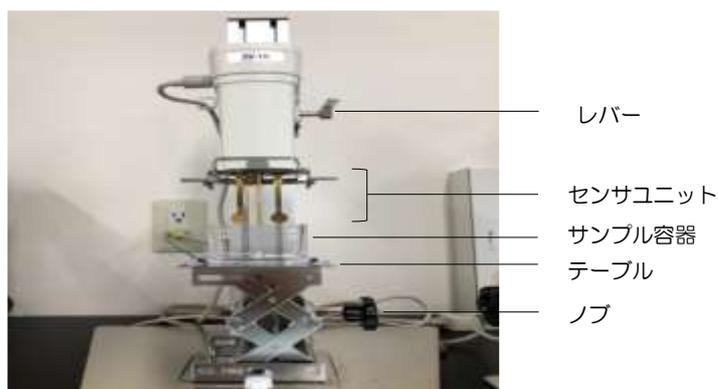
UHT_M, UHT_S, LTLT_S, UFB_S

【実験方法】

試料中に置かれた振動子を正弦振動させることにより粘度測定を行う音叉型振動式粘度計（SV-10型、エー・アンド・デイ社）を用いて粘度測定を実施した。

【実験結果】

表1に、試料温度5°C、10°Cでの測定結果を示す。5°Cでは、試料間の差異が顕著で、UHT_MはUHT_Sより粘度が低く、LTLT_SはUHT_M、Sの両者より粘度が低かった。よって、原乳・殺菌法共に粘度に関与することが示唆された。一方UFB_Sは、ロット間のばらつきが大きく、他試料との有意差はみられなかった。菌数が未制御のUFB化1~3回目の試料を用いたため、UFB化よりも菌数の影響が大きかったと考えられた。



音叉型振動式粘度計

試料	<i>n</i>	試料温度 [°C]	平均値 [Pa·s]
UHT_M	15	5.0	3.75・0.12 ^a
UHT_S	15		3.89・0.12 ^b
LTLT_S	15		3.58・0.08 ^c
UFB_S	11		3.78・0.55 ^{abc}
UHT_M	15	10.0	3.09・0.13 ^a
UHT_S	15		3.19・0.08 ^{ab}
LTLT_S	15		3.00・0.11 ^b
UFB_S	11		3.10・0.40 ^{ab}

表1 原乳・殺菌法のちがいが牛乳の粘度に及ぼす影響

統計処理は、チューキー・クレーマー法により行った。
異なるアルファベットで示した数値間に有意差あり (p < 0.05)。

2-8 殺菌抗菌関連評価

2-8-1 暫定評価装置による殺菌効果検証（北海道大学）

トスレック株式会社と北海道酪農検定検査協会とで牛乳の殺菌効果判定に適する指標菌を3種指定合意された。その指定菌を含む溶液を装置内に導入し、バブル圧壊部でUFB化処理させることにより殺菌効果をトスレックと共に検証することとした。

(i) 補助事業の具体的内容

暫定洗浄殺菌装置による純水UFB化で殺菌効果の検証を行った。

具体的には、洗浄装置内に循環させる水に大腸菌、黄色ブドウ球菌、セレウス菌(栄養細胞)を添加してUFB化処理を行い、処理前後の生菌数の変化を検討した。

(ii) 重点的に実施した事項

UFB化の処理時間の影響を検討するために、処理時間を変化させて殺菌効果を検討した。殺菌対象としては食品業界で一般的に汚染源となりうる性質の異なる3菌種について検討した。また、UFB化の効果を検証するためにUFB化処理前後の処理水の物理化学的特性の変化を検討した。測定した菌数の状況は15頁及びそのグラフによる。

実験の経緯

1回目の実験では原水、菌添加10分間の還流水、UFB化水（15分、30分）いずれにも寒天培地法、液体増殖法（寒天培地法の10倍の菌検出感度）にも菌の存在を確認できなかった。このため、菌サンプル製作のトスレック株式会社に状況を報告し、実験の見直しを求めた。

その結果、事前滅菌処理をしたオゾン水の残存の可能性があるため、オゾン水による滅菌処置後、滞留するオゾン水を除去する処置を取った後、溶存オゾン濃度計で未検出となるまで純水による希釈を実施して菌添加するとの報告を受けて2回目のサンプル評価を行った。

サンプル製作手順概略

トスレック株式会社にて暫定食品洗浄殺菌装置（HMB-OZO2）を使用し、超純水製造装置にて製作した超純水を100L純水貯留タンクに貯めた後、ポンプにて一定程度加圧して前記装置のバッファタンクに供給。装置循環ループへの菌汚染を防ぐためバッファタンクを含めた還流ループは大気とは遮蔽された密閉ループで構成され、サンプル水を抽出するときのみバッファタンク上部に取り付けられている圧力変換器を取り外して採取し、その後再度取り付けて評価したとの報告を受けている。

一般大腸菌、黄色ブドウ球菌、セレウス菌(栄養細胞)の順にサンプルを製作。

サンプル製作後5℃の温度維持ができる冷温蔵庫に入れて保管し、全サンプル製作完了後クール宅急便にて北海道大学へ送付との報告（送付に3日を要す）

結果と考察

1回目の結果：オゾン水による殺菌効果によって菌検出ができなかったのではないかと。

1回目の菌添加濃度： 10^5 個/ml(トスレック株式会社提供資料による)

2回目の結果：2回目の菌添加濃度 10^6 個/ml（トスレック株式会社提供資料による）

CO₂ UFB化によってpH：4.53～4.38 純水：pH値：5.26～5.30

一般大腸菌、黄色ブドウ球菌共に大きく減少をしており、明らかに殺菌効果と思われる現象を確認。セレウス菌(栄養細胞)についてはほとんど変化が認められない。(菌番号：NBRC番号)

今後、pH調整剤や他のガスUFB化を含めて評価を行うよう提言をした。

【1回目の結果】（寒天培養法、液体増殖法でも菌検出なし）

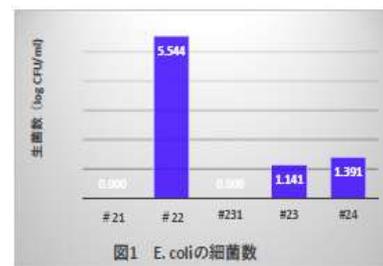


UFB洗浄装置2号機 菌添加 CO2/UV/UFB処理 結果

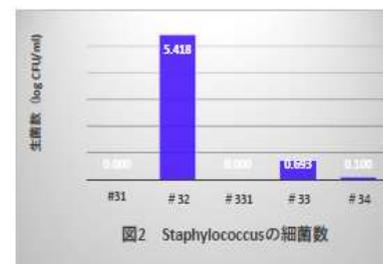
サンプル名	希釈倍率(倍)	菌液塗抹量[μL]	コロニーカウント	細菌数 log(CFU/mL)	平均値 2σ(CFU/mL)	pH
#21 原水(超純水)のみ 原水温度:15.8℃	1	100	0	0.000	0.000	5.26
#22 #21に菌添加10分間運流	1000	100	35 35 34	5.544 5.556 5.531	5.544	
#231 #22をUV/UFB化10分	1000	1000	0 0 0	0.000 0.000 0.000	0.000	
#23 #22をCO2/UFB化15分	1	1000	11 15 15	1.041 1.176 1.204	1.141	
#24 #22をCO2/UFB化30分 排水温度:25.7℃	1	1000	18 23 35	1.255 1.362 1.556	1.391	4.53
#31 原水(超純水)のみ 原水温度:15.8℃	1	100	0 0	0.000 0.000	0.000	5.30
#32 #31に菌添加10分間運流	1000	100	27 29 23	5.431 5.462 5.362	5.418	
#331 #32をUV/UFB化10分	1000	1000	0 0 0	0.000 0.000 0.000	0.000	
#33 #32をCO2/UFB化15分	1	1000	6 2 10	0.778 0.301 1.000	0.693	
#34 #32をCO2/UFB化30分 排水温度:25.7℃	1	1000	2 1 0	0.301 0.000 0.000	0.100	4.47
#41 原水(超純水)のみ 原水温度:15.8℃	1	100	0 0 0	0.000 0.000 0.000	0.000	5.30
#42 #41に菌添加10分間運流	100	100	12 14 10	4.079 4.146 4.000	4.075	
#431 #42をUV/UFB化10分	1000	1000	0 0 0	0.000 0.000 0.000	0.000	
#43 #42をCO2/UFB化15分	100	100	2 5 4	3.301 3.659 3.602	3.534	
#44 #42をCO2/UFB化30分 排水温度:25.7℃	100	100	5 2 3	3.659 3.301 3.477	3.492	4.38

トスレックにてサンプル製作後 クール宅急便にて3日後に北海道大学に到着し、検査したもの

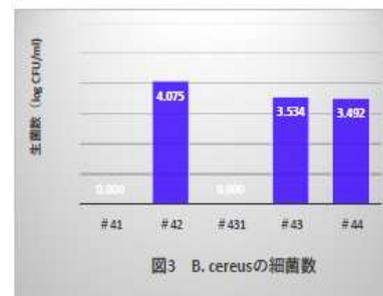
1. 大腸菌
No. 102203



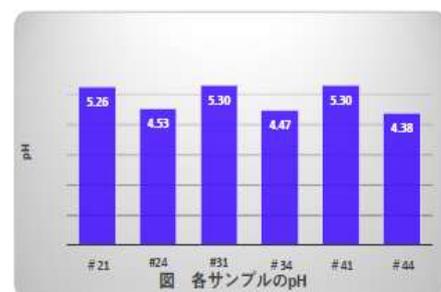
2. 黄色ブドウ球菌
No. 13276



3. セレウス菌(芽胞菌)
No. 15305



4. 各サンプルのpH



NBRC番号とはNITE（独立行政法人製品評価技術基盤機構）の生物資源センターで管理する標準番号。
 試験細菌の選定は、北海道酪農検定検査協会様と協議の上、飲料殺菌評価など牛乳等飲料の代表的な指標菌と決定。
 実験で使用した供試水：水道水をイオン交換樹脂で処理した超純水を使用。
 UFB水生産：オゾンと二酸化炭素をUFB水製造に使用した当社製食品洗浄滅菌装置（型式HMB-OZ O2）を用いてそれぞれの条件で調製した試料。

細菌数の測定と取り扱い：北海道大学大学院農学研究院食品加工工学研究室准教授小関成樹先生による。
 トスレック(株)にて供試サンプル製作後クール宅急便にて北海道大学に送付し、サンプル製作後3日目での評価。

2-8-2 本研究開発による非加熱殺菌装置での評価（トスレック株式会社）

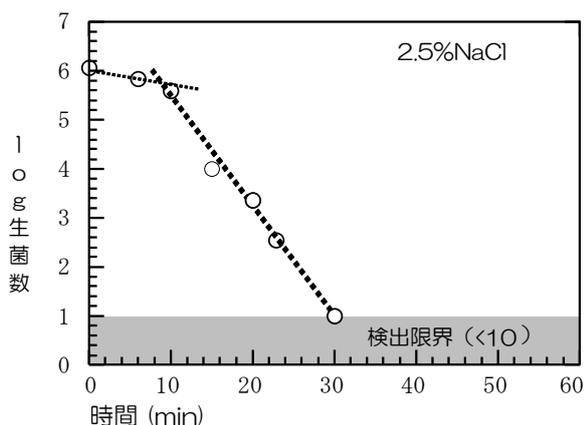
(1) ファインバブルによる殺菌効果評価

北海道大学による暫定非加熱殺菌装置による殺菌検証、三重大学による非加熱殺菌装置のモデル原機を用いた殺菌抗菌原理解明のための評価検証を踏まえ、サボイン事業にて開発した非加熱殺菌装置 型 HMB-NHS01 の H30 年度改造を完了した装置を用いて殺菌/抗菌効果検証を行った。

各種飲料の主要成分を用いて調製したモデル飲料を対象に、UFB 洗浄殺菌処理（MB 作成時、タンク 2 超音波圧壊のみ、UFB 化後）タンク 2 超音波圧壊電力の向上を実施し、殺菌効果が強く現れる飲料成分の特定を行った。その結果、殺菌効果を向上させる飲料成分として、塩化ナトリウム（スポーツ飲料、経口補水液）以外に、エタノール（アルコール飲料）、ショ糖（果汁飲料）が有効であることを検証した。

また、ファインバブル圧壊に紫外線殺菌を併用した殺菌技術を新たに考案し、ファインバブル圧壊とその後の紫外線殺菌処理およびファインバブル圧壊＋紫外線殺菌同時併用法の検証も行った。

① 腸炎ビブリオの殺菌効果

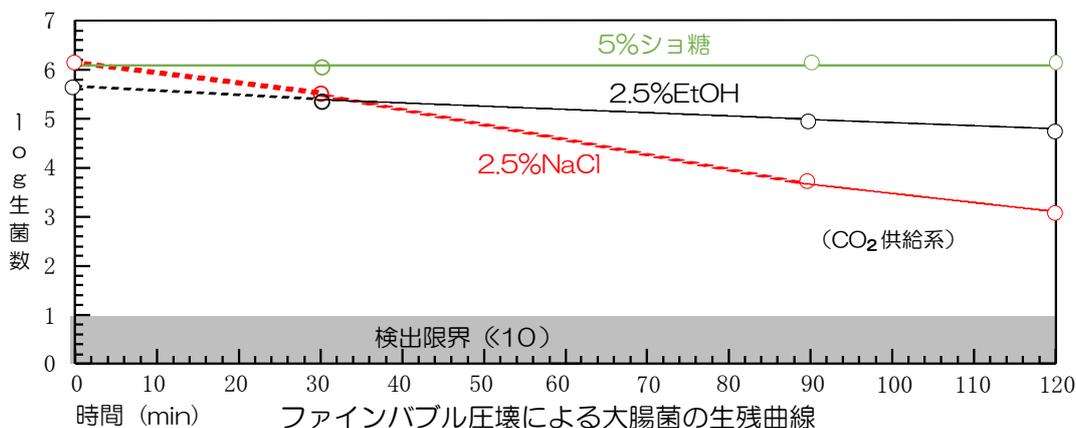


ファインバブル圧壊による腸炎ビブリオの生残曲線

供試菌	腸炎ビブリオ
ガス	二酸化炭素
液体	2.5%食塩水
細菌数(CFU/ml)	
初期菌数	2.6×10^6
MB 作成時	<1
タンク 2 超音波のみ	<1
UFB 化後	<1
UFB 濃度 (個/ml)	参考値
MB 作成時	8.70×10^6
タンク 2 超音波のみ	1.90×10^7
UFB 化後	2.68×10^7
UFB 粒径 (nm)	参考値
MB 作成時	132.8 ± 55.5
タンク 2 超音波のみ	195.6 ± 24.5
UFB 化後	142.7 ± 13.6

腸炎ビブリオ殺菌効果

② 大腸菌の殺菌効果

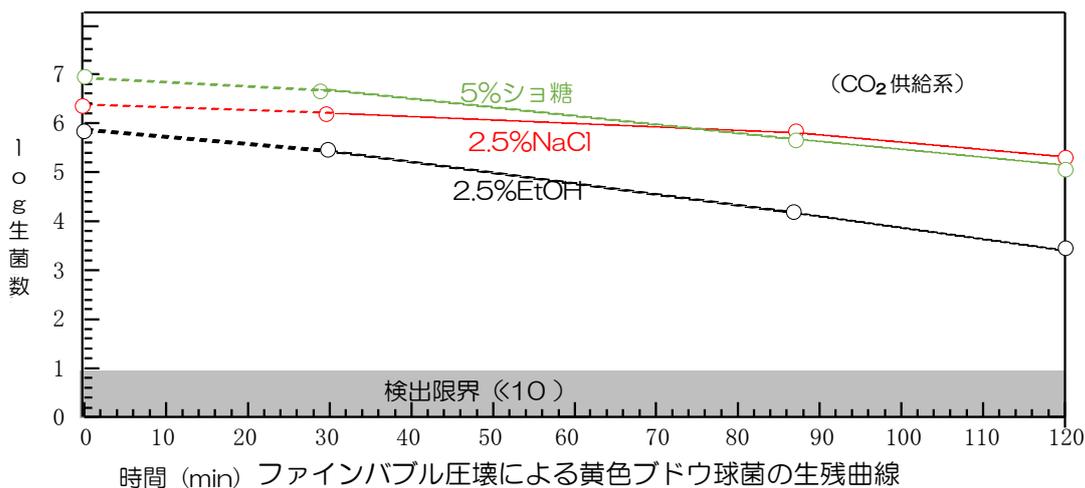


ファインバブル圧壊による大腸菌の生残曲線

供試菌	大腸菌		
ガス	二酸化炭素		
液体	2.5%食塩水	2.5%エタノール	5%ショ糖
細菌数(CFU/ml)			
初期菌数	1.2×10^6	6.0×10^5	1.3×10^6
MB 作成時	2.8×10^5	5.8×10^5	1.2×10^6
UFB 化 30 分後	1.7×10^5	4.2×10^5	1.1×10^6
UFB 化 60 分後	9.7×10^3	2.9×10^5	1.1×10^6
UFB 化 90 分後	3.7×10^3	3.0×10^5	1.2×10^6
UFB 化 120 分後	1.5×10^3	3.0×10^5	1.1×10^6
対数減少値(120 分後)	-2.9log	-0.3log	—

一般大腸菌の殺菌効果

③黄色ブドウ球菌の殺菌効果



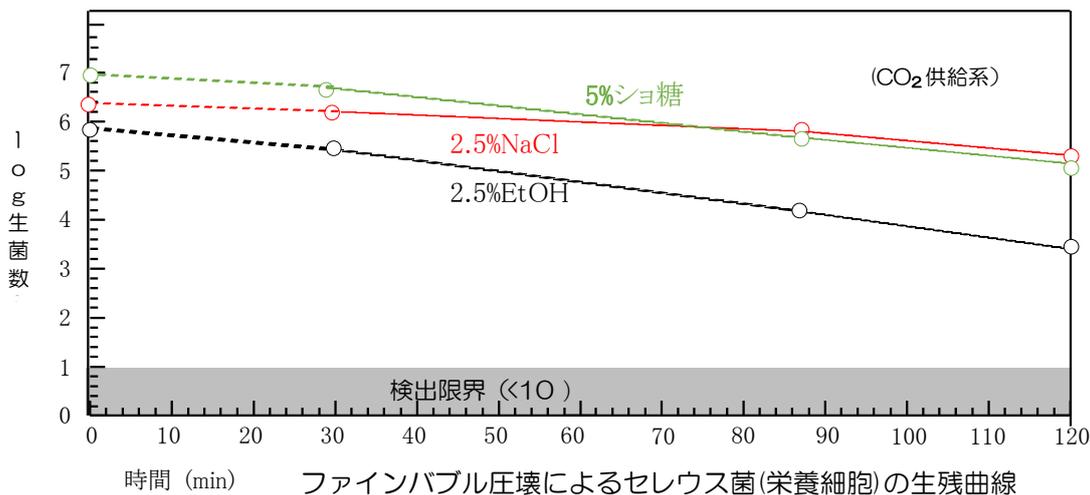
供試菌	黄色ブドウ球菌		
ガス	二酸化炭素		
液体	2.5%食塩水	2.5%エタノール	5%ショ糖
細菌数(CFU/ml)			
初期菌数	7.5×10^6	8.4×10^5	9.4×10^6
MB 作成時	2.8×10^6	9.9×10^4	7.9×10^6
UFB 化 30 分後	2.1×10^6	5.5×10^4	1.2×10^6
UFB 化 60 分後	1.8×10^6	1.1×10^4	4.7×10^5
UFB 化 90 分後	8.3×10^5	3.9×10^3	3.4×10^5
UFB 化 120 分後	3.9×10^5	7.2×10^3	1.6×10^5
対数減少値(120分後)	-1.3log	-2.1Log	-1.8log

黄色ブドウ球菌の殺菌効果

④セレウス菌(栄養細胞)の殺菌効果

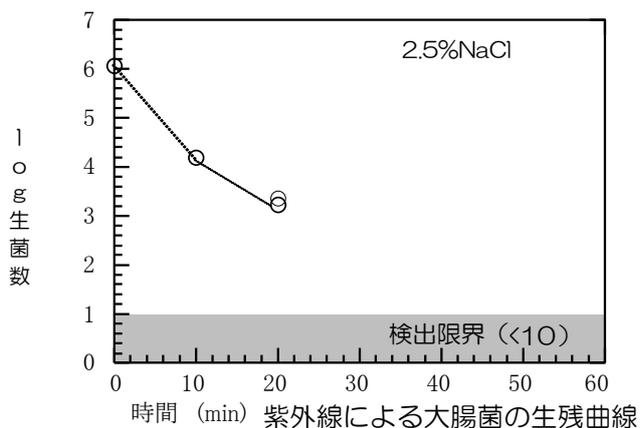
供試菌	セレウス菌		
ガス	二酸化炭素		
液体	2.5%食塩水	2.5%エタノール	5%ショ糖
細菌数(CFU/ml)			
初期菌数	7.7×10^5	8.0×10^5	1.4×10^5
MB 作成時	1.4×10^5	1.4×10^5	9.8×10^4
UFB 化 30 分後	1.2×10^5	1.6×10^5	1.2×10^5
UFB 化 60 分後	1.4×10^5	1.5×10^5	9.3×10^4
UFB 化 90 分後	9.1×10^4	1.4×10^5	9.4×10^4
UFB 化 120 分後	8.7×10^4	1.2×10^5	9.0×10^4
対数減少値(120分後)	-0.9log	-0.8Log	-0.2log

セレウス菌(栄養細胞)の殺菌効果



(2) 従来型非加熱殺菌技術併用による殺菌効果検証

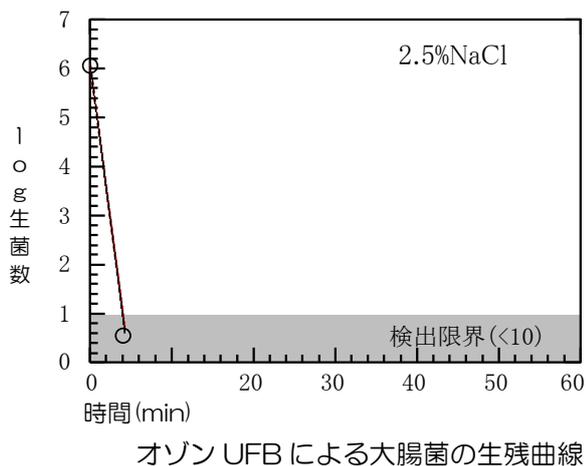
① 紫外線による殺菌効果



供試菌	一般大腸菌
紫外線(ピーク波長)	253.7nm
UV 照度	12.0mw/cm ²
照射時間	10 分間
初期菌数 (CFU/ml)	1.6×10 ⁶
残存菌数 (CFU/ml)	1.3×10 ⁴
対数減少率	-2.1log
照射時間	20 分間
初期菌数 (CFU/ml)	1.6×10 ⁶
残存菌数 (CFU/ml)	1.6×10 ³
対数減少率	-3.0log

紫外線による大腸菌の殺菌効果

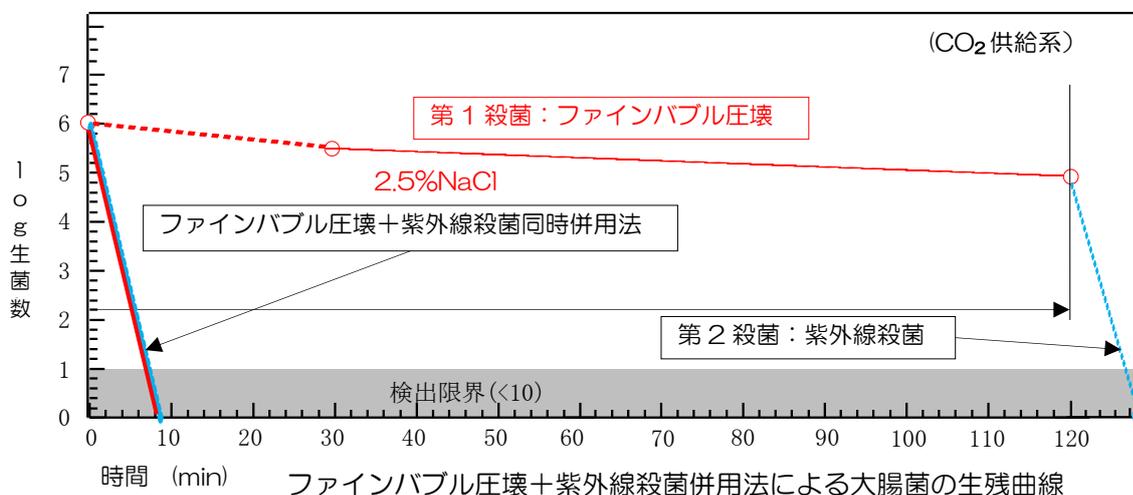
② オゾンUFBによる殺菌効果



供試菌	一般大腸菌	
オゾン原料ガス	工業用酸素 純度：99.5%	
オゾン発生器	組み込み式オゾン発生器	
溶存オゾン濃度	1ppm	5ppm
MB 作成後	5 分	5 分
初期菌数 (CFU/ml)	1.3×10 ⁶	1.3×10 ⁶
残存菌数 (CFU/ml)	<1	<1
対数減少率	-log6	-log6
溶存オゾン濃度	1ppm	5ppm
UFB 化後	初期	5 分
菌数 (CFU/ml)	1.6×10 ⁶	1.6×10 ⁶
残存菌数 (CFU/ml)	<1	<1
対数減少率	-log6	-log6

オゾン UFB による殺菌効果

③ ファインバブル圧壊+紫外線殺菌併用法での殺菌効果



供試菌	一般大腸菌
ガス	二酸化炭素
液体	2.5%食塩水
細菌数(CFU/ml)	
初期菌数	1.3×10^6
MB 化後	8.2×10^5
UV 照射 10 分後	1.1×10
対数減少値(10 分後)	-log5.11

供試菌	一般大腸菌
ガス	二酸化炭素
液体	2.5%食塩水
細菌数(CFU/ml)	
初期菌数	1.0×10^6
MB 化後	6.3×10^5
UFB 化+60 分後	2.0×10^5
UFB 化 1 20 分後	8.0×10^4
UFB 化 1 20 分+UV 照射 10 分後	1.7×10
対数減少値(130 分後)	-log4.77



注. ファインバブル圧壊+紫外線殺菌併用法：当社開発の選択的吸着脱離洗浄殺菌技術として本サポイン事業で特許申請済み。

ファインバブル圧壊+紫外線殺菌同時併用法での殺菌効果

ファインバブル圧壊後の紫外線殺菌法殺菌効果

2-8-3 三重大学報告分

三重大学として、本事業で以下の研究開発を実施した。

① 重点的に実施した事項

重点的に実施した事項は殺菌機構の解明と殺菌効果の検証である。

超音波 FB 圧壊処理は、昨年度に超音波圧壊部の超音波振動子(26kHz, 50W)の配置を「6 本対向型×2 組」に変更した原型品 1 号機改良型を用いた。

一般に、食塩などの無機塩の濃度を高めると、水溶液中での FB の安定性が増加し、FB 濃度が増加することが知られている。昨年度は、好塩性細菌である腸炎ビブリオを対象に超音波 FB 圧壊殺菌処理に及ぼす NaCl の添加効果を見出した。本年度は、供試菌として大腸菌 (*Escherichia coli* NBRC 102203：グラム陰性菌)、黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus* NBRC 13276：グラム陽性菌)、腸炎ビブリオ (*Vibrio parahaemolyticus* NBRC 12711：グラム陰性菌)、黒カビ (*Cladosporium cladosporioides* NBRC 6348：孢子形成菌)を用いて、さらに詳細に NaCl 濃度の添加効果について検討した。

② 超高濃度 UFB 非加熱殺菌装置の殺菌/抗菌原理解明

殺菌/抗菌メカニズムの解明のアプローチとして、各種飲料の主要成分を用いて調製したモデル飲料を対象に、UFB 洗浄殺菌処理(原型品 1 号機改良型：超音波振動子(26Hz, 50W)：6 本対向型×2 組)を実施し、殺菌効果が強く現れる飲料成分の特定を行った。その結果、殺菌効果を向上させる飲料成分として、塩化ナトリウム(スポーツ飲料、経口補水液)以外に、エタノール(アルコール飲料)、ショ糖(果汁飲料)が有効であることを見出し、殺菌効果が現れるメカニズムを考察した。

また、ステンレス鋼表面に付着させた乳タンパク質汚れを対象に、洗浄力に及ぼす界面活性剤と各種飲料成分の相乗効果を検討し、適切なナトリウム塩(NaCl、クエン酸Na)や微量のエタノールと組み合わせることにより、洗浄に必要な界面活性剤濃度を約1/10に減少させることができることを見出した。

③ 塩化ナトリウムの添加効果(スポーツ飲料・経口補水液を想定)

図 3-1 に、2.5% NaCl-CO₂ 供給系において超音波 FB 圧壊処理したときの大腸菌と黄色ブドウ球菌の生残曲線を示す(log 生菌数 vs 時間)。大腸菌の場合、生菌数は処理時間 30 分までは緩やかな直線的な減少であり(0.6-log 減)、処理時間 30~60 分では速やかな直線的がみられ、60 分後には 2.7-log の減少に達した。黄色ブドウ球菌の場合も同様に、生残曲線にも 2 つの一次反応過程が認められ、60 分後には 2.9-log の減少が得られた。

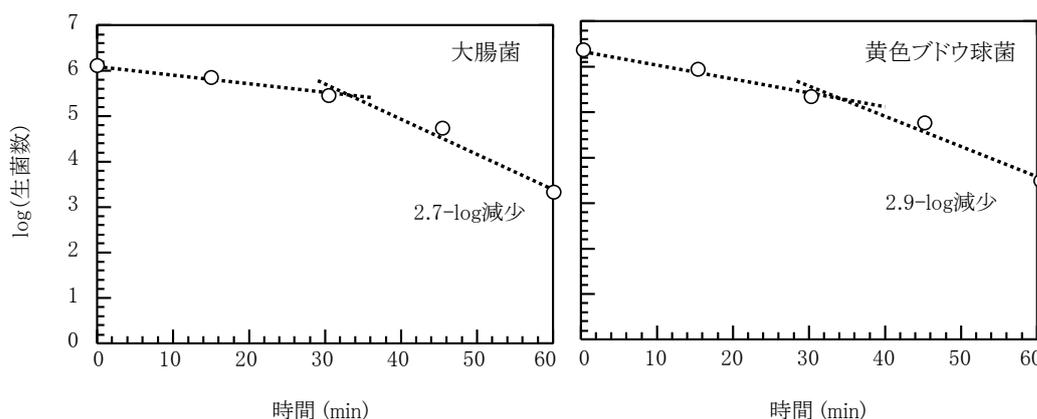


図3-1. 2.5% NaCl存在下における超音波FB圧壊処理による大腸菌と黄色ブドウ球菌の生残曲線 (2.5% NaCl-CO₂供給系)

図3-2に、種々のNaCl濃度で大腸菌と黄色ブドウ球菌を超音波FB圧壊処理したときの、60分処理後の生菌数の対数減少値とNaCl濃度の関係をまとめた。大腸菌の場合、NaCl濃度0~0.5%のときは1.2-log~1.6-logの対数減少値であったが、NaCl濃度1.0~3.0%の範囲では3-log~4-logの対数減少値が得られた。黄色ブドウ球菌の場合も、NaCl濃度0~0.5%のときは1.0-log程度の対数減少値であったが、NaCl濃度1.0~3.0%の範囲では2.5-log~4-logの対数減少値が得られた。このように、1%程度のNaClが存在すれば、高い殺菌効果が得られることを実証した。なお、処理温度は30~45℃の範囲内であった。

実際のスポーツ飲料や経口補水液に含まれる無機塩濃度(NaCl含む)は0.2~0.5%程度であり、それ以上の無機塩濃度での処理は現実的ではない。本実験における1.0~3.0%のNaCl水溶液の殺菌処理は、種々のだし汁や食品加工用水(漬け物、ハム・ソーセージ、鮮魚介類)に適用できると考えられる。

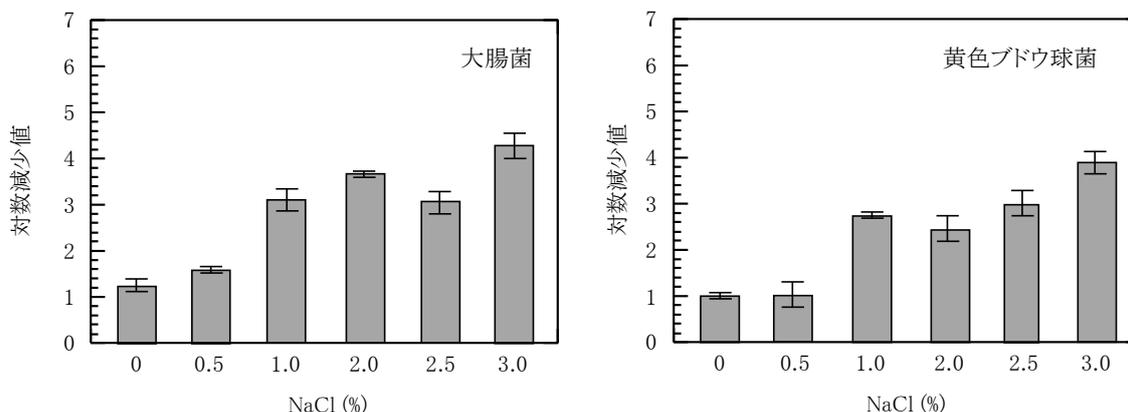


図3-2. 超音波FB圧壊処理の殺菌効果に及ぼすNaCl濃度の影響 (NaCl-CO₂供給系)

④ 次亜塩素酸の関与の否定

水溶液の超音波照射処理では、圧力振動により発生する微細気泡は圧力振動のもとで膨張、収縮、破壊が繰り返えされ、破壊した気泡の周囲で高温・高圧場や衝撃波、マイクロジェット流、ヒドロキシラジカル($\cdot\text{OH}$)等が生成すること(キャビテーション効果)が知られている。この時、NaClが高濃度に存在すると、次亜塩素酸(HOCl)が生成して殺菌作用を示すのではないかと懸念が生じた。超音波振動子の周波数26kHzでは $\cdot\text{OH}$ は生成しないと言われているが、確認する必要がある。

上記の図 3-2 の実験において、60 分処理後の処理液の残留塩素濃度を DPD 吸光光度法により測定した結果、0.01~0.04ppm であった。この濃度は、DPD 試薬と溶存酸素が反応しても得られる値であり、細菌を 60 分間で 2.5-log~4-log も死滅させる濃度ではないが、発生濃度ではなく残留濃度であることから、HOCl の関与を完全に否定することは難しかった。

そこで、水溶液に 2.5% NaCl とともに還元剤であるアスコルビン酸（HOCl 消去剤）を 1% 添加して、超音波 FB 圧壊処理を行った。この実験では、NaCl 自身による不活化作用を排除するため、好塩性細菌である腸炎ビブリオ（*Vibrio parahaemolyticus*）を用いた。

図 3-3 に、2.5% NaCl-CO₂ 供給系にてアスコルビン酸存在下・非存在下において超音波 FB 圧壊処理したときの腸炎ビブリオの生残菌数の減少曲線を示す。いずれの実験系においても、腸炎ビブリオの生菌数は処理時間 10 分までは 0.2-log~0.4-log 程度の緩やかな減少であったが、処理時間 15~30 分では生菌数は検出限界以下 (<10) まで急速に減少した。処理は 60 分間行い、処理後の残留塩素濃度を測定した結果、アスコルビン酸存在下で 0.02ppm、非存在下で未検出 (<0.01ppm) であった。この結果は、HOCl が超音波 FB 圧壊処理の殺菌因子として関与していないことを明確に示している。

⑤ エタノールの添加効果（アルコール飲料を想定）

図 3-4 に、2.5%エタノール-CO₂ 供給系において超音波 FB 圧壊処理したときの大腸菌と黄色ブドウ球菌の生残曲線を示す。両菌株とも、生残曲線に 2 つの一次反応過程が認められ、60 分後には生菌数はいずれも 2.5-log の減少に達した。

図 3-5 に、種々のエタノール濃度で大腸菌と黄色ブドウ球菌を超音波 FB 圧壊処理したときの、60 分処理後の生菌数の対数減少値とエタノール濃度の関係をまとめた。大腸菌の場合、エタノール濃度 1~5% の範囲で 1.8-log~2.5-log の対数減少値、黄色ブドウ球菌の場合、エタノール濃度 1~5% の範囲で 1.8-log~3.8-log の対数減少値が得られた。NaCl 濃度 0~0.5% のときは 1.0-log 程度の対数減少値であったが、NaCl 濃度 1.0~3.0% の範囲では 2.5-log~4-log の対数減少値が得られた。

1%以上のエタノールが存在すれば、2-log 以上の高い殺菌効果が得られることを実証した。

なお、処理温度は 30~45℃の範囲内であった。

上記の図 3-5 の実験において、60 分処理後の処理液の残留塩素濃度は 0.01~0.04ppm であり、DPD 試薬と溶存酸素が反応しても得られる値であった。

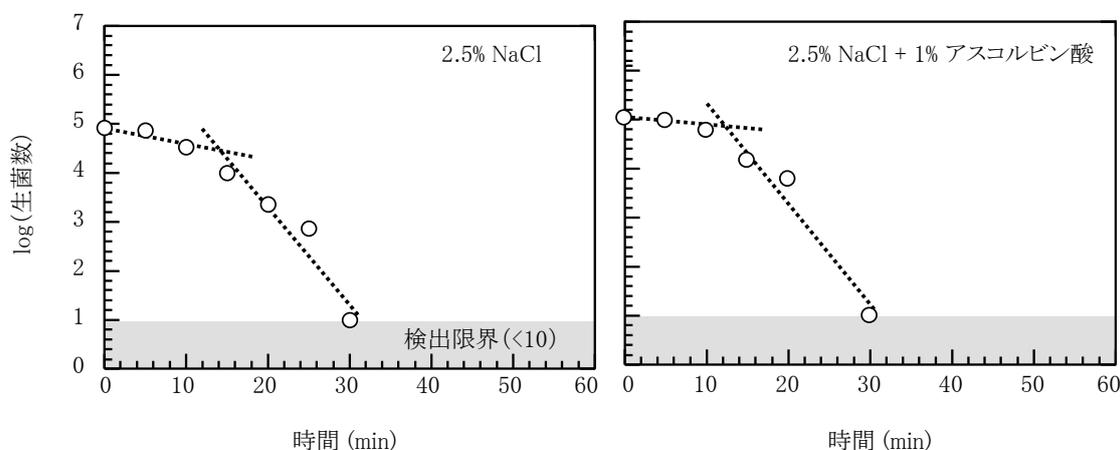


図3-3. アスコルビン酸存在下における超音波FB圧壊処理による腸炎ビブリオの生残曲線 (2.5% NaCl-CO₂供給系)

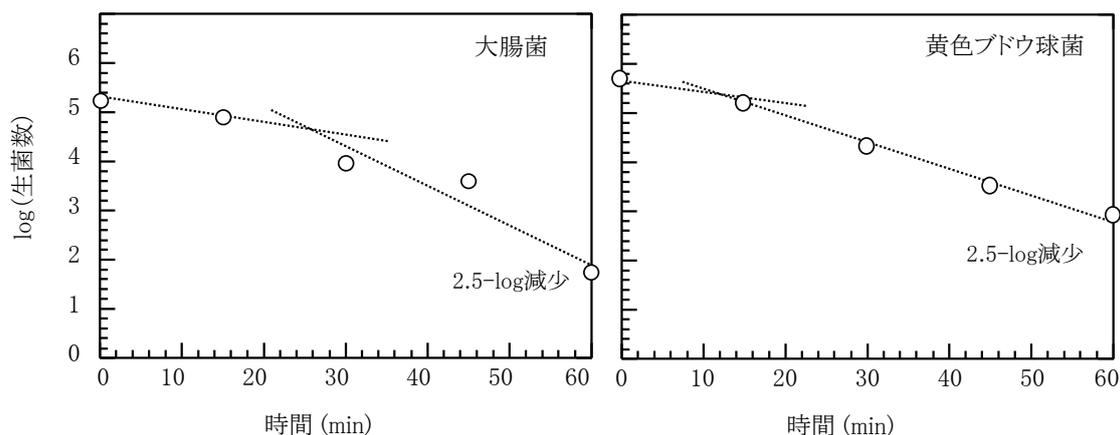


図3-4. 2.5% エタノール存在下における超音波FB圧壊処理による大腸菌と黄色ブドウ球菌の生残曲線 (2.5% エタノール-CO₂供給系)

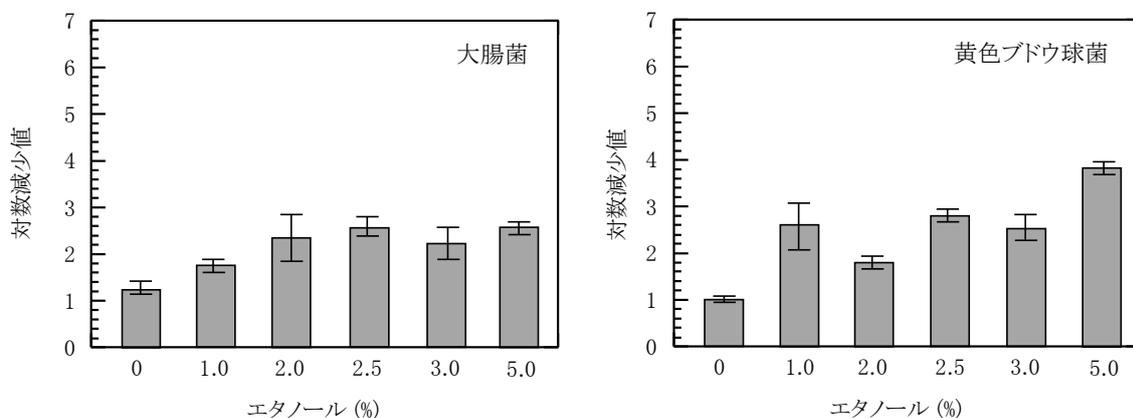


図3-5. 超音波FB圧壊処理の殺菌効果に及ぼすエタノール濃度の影響 (エタノール-CO₂供給系)

⑥ ショ糖の添加効果 (果汁飲料を想定)

5% ショ糖-CO₂ 供給系において超音波 FB 圧壊処理したときの大腸菌と黄色ブドウ球菌の生残曲線を示す。NaCl およびエタノール添加系と比較すると、生残曲線に明確な 2 つの一次反応過程が見られなかったが、60 分後の生菌数は大腸菌で 1.8-log、黄色ブドウ球菌で 2.2-log の減少に達した。ショ糖も、殺菌効果の向上に有効であることがわかった。

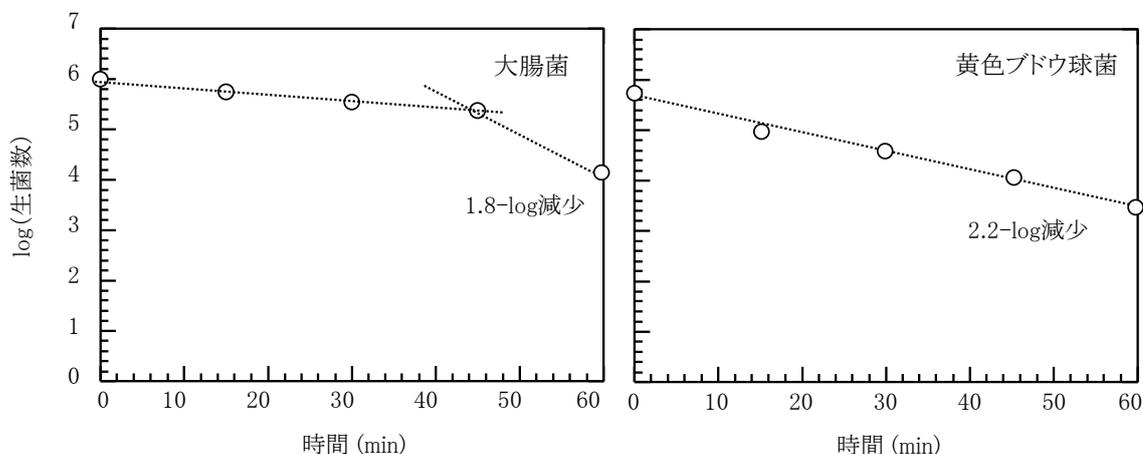


図3-6. 5% ショ糖存在下における超音波FB圧壊処理による大腸菌と黄色ブドウ球菌の生残曲線 (5% ショ糖-CO₂供給系)

⑦殺菌効果に及ぼすFB濃度の影響

図3-8に、イオン交換水およびNaClまたはエタノールを添加してCO₂-FBを生成した時の各FB水溶液の写真を示す。NaClまたはエタノールを添加することにより、FB水の白濁度が明らかに増加している現象が観察された。さらに、UFB殺菌装置からFB水溶液をビーカーに取り出して1分間放置しても、白濁度は維持されていた。この白濁度は、水溶液中のFB濃度の増加を示している。超音波FB圧壊処理による殺菌効果の向上との相関性が推察された。そこで、FB濃度と粒径分布の測定を試みたが（ナノサイト NS300）、本研究期間では残念ながら白濁度を反映するデータは取得できず、今後の課題となった。

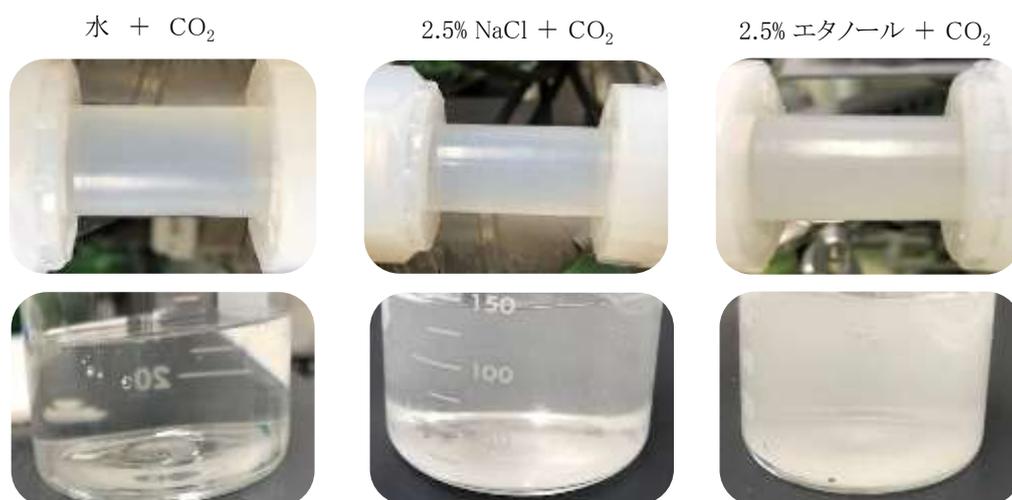


図3-8. 水、NaCl水溶液、エタノール水溶液でFBを発生させたときの各FBの写真(CO₂供給系)

図3-9は、上記の図3-8で生成したFBを超音波圧壊した後の各UFB水溶液の写真と、UFB濃度および平均粒径である（ナノサイト NS300で測定）。超音波圧壊後はFB水溶液の白濁は消失し、透明なUFB水が生成した。UFB濃度および平均粒径を比較すると、ほぼ同等の数値が得られており、NaClとエタノールの添加による差は見られなかった。すなわち、超音波圧壊後のUFB濃度と殺菌効果には相関関係はないと考えられた。

以上の結果から、超音波FB圧壊処理における殺菌因子は、消去法ではあるが、高密度化したFBの圧壊時に生じる衝撃波あるいはマイクロジェットによる物理的な作用力ではないかと推察された。詳細な殺菌機序の解明には、継続した研究が必要である。

	水 + CO ₂	2.5% NaCl + CO ₂	1.0% エタノール + CO ₂
超音波圧壊後			
UFB濃度 (個/ml)	5.2×10^7	1.7×10^7	2.0×10^7
UFB粒径 (nm)	84.9	123	93.5

図3-9. 水、NaCl水溶液、エタノール水溶液で生成したFBを超音波圧壊した後の各UFB水溶液の写真とUFB濃度および平均粒径(CO₂供給系)

⑧ 乳タンパク質汚れに対する洗浄作用の検証

陰イオン界面活性剤と無機塩（食品添加物成分）およびエタノールを組み合わせたときの洗浄力を評価することを目的とした。本年度は、乳タンパク質の 80%をしめるカゼインを用いた。洗浄は、ステンレス鋼板（50mm×50mm）に付着させたカゼイン（蛍光色素であるクルクミンを 0.1%配合）を対象として実施した。陰イオン界面活性剤には、ラウリル硫酸ナトリウム（SLS）を用いた。洗浄操作は、カゼイン付着ステンレス鋼を SLS 含有洗浄液中に浸漬し、2 時間静置して行った（25℃）。洗浄前後での汚れの残存量は、蛍光センサを用いた蛍光検出法で測定した。洗浄液の表面張力は、接触角計を用いて懸滴法（Young-Laplace 法）により測定した（25℃）。

図 3-10 に、蛍光センサを用いた残存量の測定概要図を示す。装置は、制御部、センサヘッド部（光源・蛍光センサ）、データ処理部からなる。汚れ付着ステンレス鋼板を測定ステージに載せ、遮光下にて紫外線（365nm）を照射する。この時、発生する緑色の蛍光強度（Relative fluorescence unit: RFU）を 1 秒間隔で 10 秒間測定し、その平均値を算出した。

図 3-11 は、カゼイン（クルクミン配合）の付着量が異なるステンレス鋼を対象に蛍光強度を測定した時の標準曲線（検量線）である。クルクミン量が少なくとも 0.05~10 $\mu\text{g}/\text{plate}$ の範囲において、クルクミン量と蛍光強度値との間に良好な直線関係が得られた（ $R=0.995$ ）。

この測定値からカゼインの付着量を算出した。

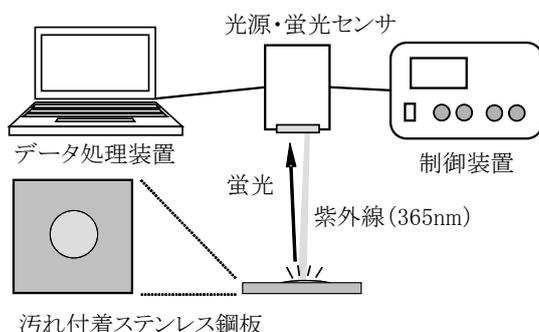


図3-10. 蛍光センサーによる残存量の測定概要図

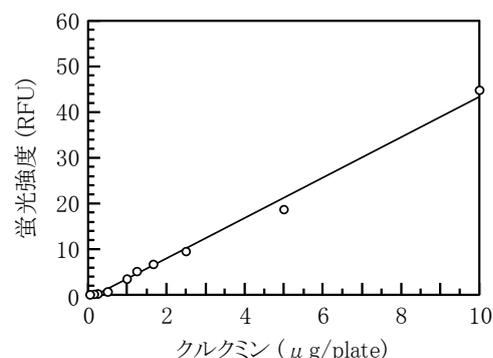


図3-11. 蛍光検出法で測定したステンレス鋼板上のカゼイン中のクルクミンの標準曲線

図 3-12 に、水の表面張力に及ぼす SLS の添加濃度の影響と、SLS 水溶液の表面張力およびステンレス鋼上のカゼイン汚れに対する洗浄力発現濃度に及ぼす 1% NaCl, 1%クエン酸ナトリウム、5%エタノールの影響を示す。

イオン交換水に SLS を順次添加すると、添加濃度とともに水の表面張力(72.4mN/m)は減少し、12mM ($\log[\text{SLS}]=-1.9$) 付近で最小値 37.7mN/m に達した（網掛け領域）。次に、これらの表面張力の異なる種々の SLS 水溶液でカゼイン付着ステンレス鋼を洗浄した結果、6~10mM ($\log[\text{SLS}]=-2.0\sim-2.2$) の濃度域で残存率が急激に減少した（網掛け領域）。すなわち、カゼイン汚れに対する洗浄力発現濃度を意味し、表面張力の最小領域とほぼ一致していた。

1.0% NaCl を添加した系では、水の表面張力が最低となる SLS 濃度は低濃度側にシフトした ($\log[\text{SLS}]=-2.2$)。洗浄実では、カゼインに対する SLS の洗浄力発現濃度が 3~5mM ($\log[\text{SLS}]=-2.3\sim-2.5$) の低濃度側にシフトした。

1%クエン酸 Na を添加した系では、水の表面張力が最低となる SLS 濃度はさらに低濃度側にシフトし(約 2mM; $\log[\text{SLS}]=-2.7$)、SLS の洗浄力発現濃度も 1~2mM ($\log[\text{SLS}]=-2.7\sim-2.9$) に低下した。

5%エタノールを添加した系では、各 SLS 濃度における水の表面張力の低下は顕著に起こり、表面張力が最低となる SLS 濃度はクエン酸 Na の添加系と同様に約 2mM ($\log[\text{SLS}]=-2.7$) まで低下した。さらに、SLS の洗浄力発現濃度は約 1mM ($\log[\text{SLS}]=-3.0$) まで低下し、SLS 単独使用時の発現濃度よりも約 1/10 も削減できることが見出された。

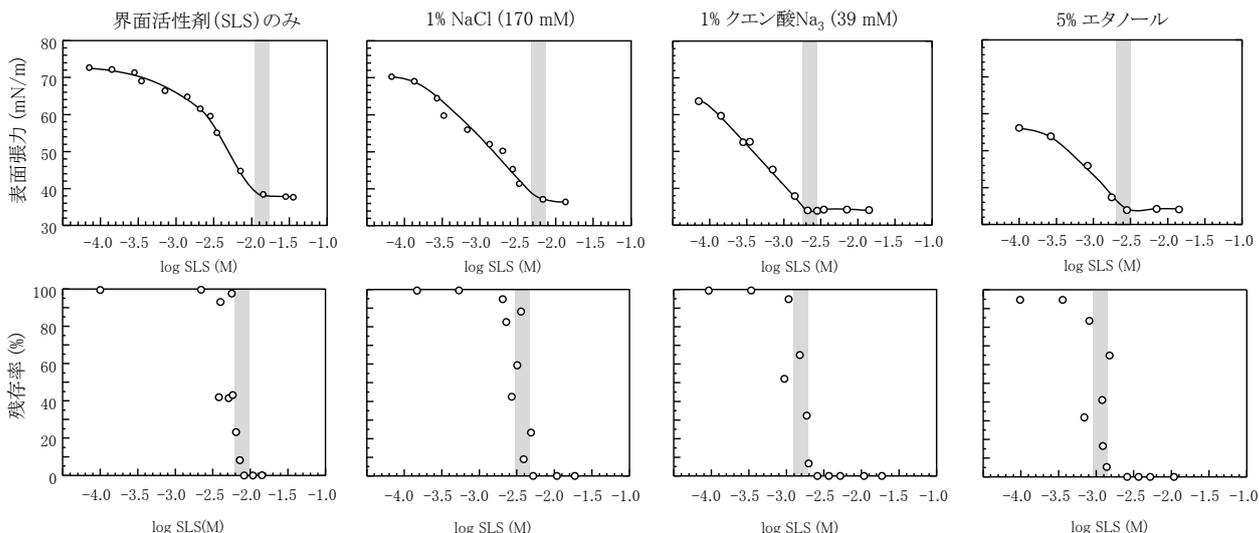


図3-12. SLS水溶液の表面張力およびカゼイン汚れに対する洗浄力発現濃度に及ぼす添加剤の影響

2-9 UFB化による成分比較/官能比較/微生物検査評価

2-9-1 原乳のUFB化による成分比較/官能比較/微生物検査評価

乳等省令等に基づく成分規格、風味基準と微生物検査の基準値を下表に記載。
 この基準値に照合して計 8 回の原乳UFB化を行い、5 回目を除き、風味以外の成分分析値は全て乳等省令の規格内であった。6 回目と 8 回目は脱気工程を省略することで風味が 0 ⇒ 3 に改善された。
 原因調査のため、脱気装置の接液部分解調査を行ったところ、洗浄不足による菌汚染で有ることが判明した。このため、脱気装置を別途洗浄することで菌の 2 次汚染を防止できた。

①成分検査/官能検査

当初官能検査について味覚センサを用いた方式で検討を進めていた。
 しかしながら、その後の協議の結果、サツラク農協様等牛乳製造業者で採用されている国際酪農連盟 (IDF) で規定されている風味検査 (5 段階評価尺度) を導入する方が現実的であるとの結論に至り、この尺度で判定することとなった。風味検査尺度 4、5 が飲料適とされる基準値である。

乳等省令で規定する成分規格、微生物検査規格

乳等省令に基づく成分規格		備考	
成分分析検査	脂肪分	3.0%以上	
	無脂乳固形分	8.0%以上	
	酸度	0.18%以下	乳酸量を滴定、腐敗度・新鮮度
	比重	1.028~1.034	
	風味	5段階評価	0~5の5段階評価で4と5が飲用適と判断(サツラク農協)
微生物検査	大腸菌群	陰性 0	
	一般細菌数	50,000 以下	
	耐熱生菌数 (35℃培養)	中温性芽胞菌数	80℃10分加熱した生乳を希釈して平板法で計測
耐熱生菌数 (55℃培養)	高温性芽胞菌数		

成分検査、官能検査(風味検査)、微生物検査、粒度分布検査は全てサツラク農業協同組合にて実施した。

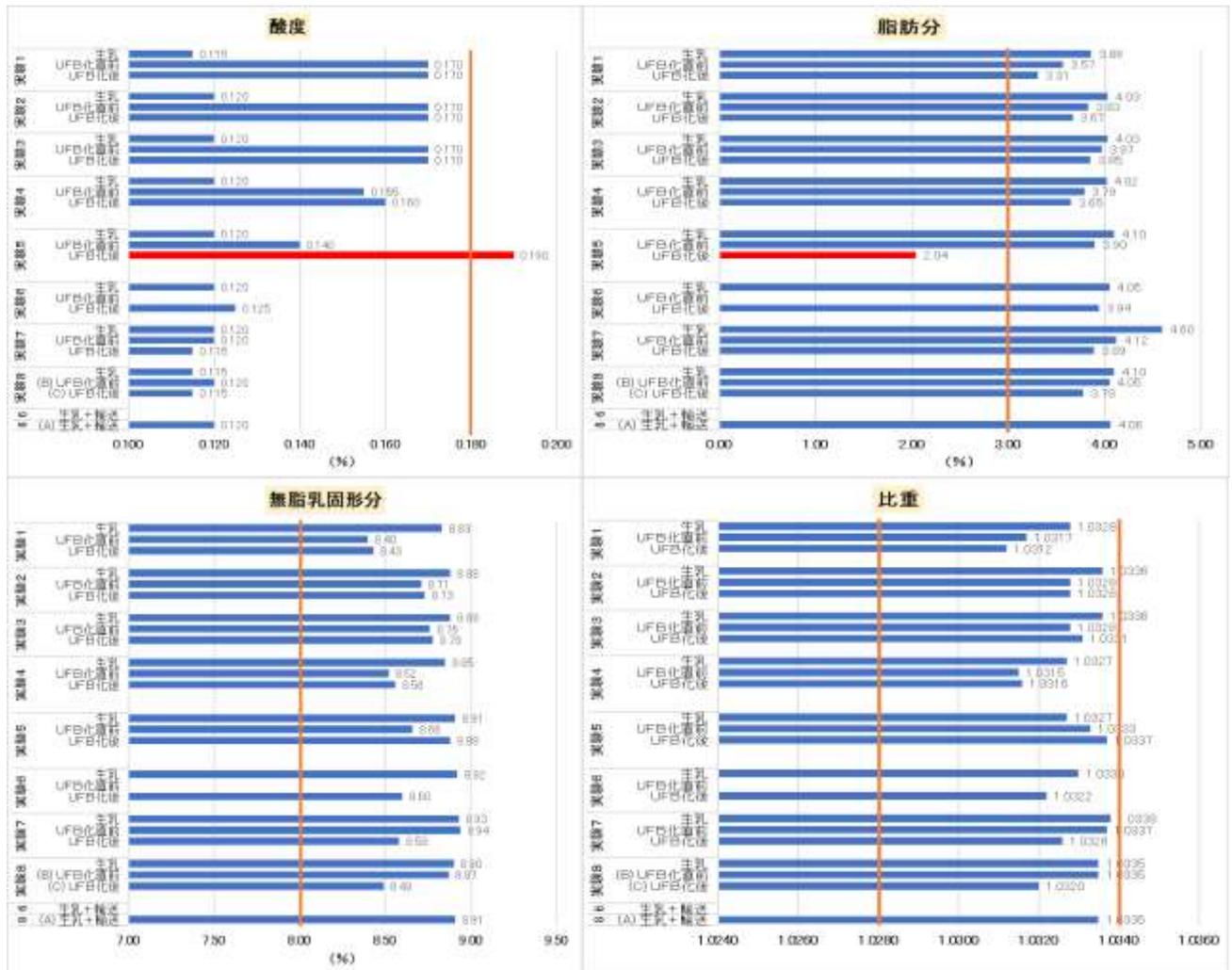
IDFでの風味基準

風味検査	得点	判定基準
評価尺度	5	前もって設定された官能特性と一致している
	4	前もって設定された官能特性と僅かに差がある
	3	前もって設定された官能特性と明らかに差がある
	2	前もって設定された官能特性と相当に差がある
	1	前もって設定された官能特性と非常に差がある
	0	人の消費には適さない

粒度分布検査

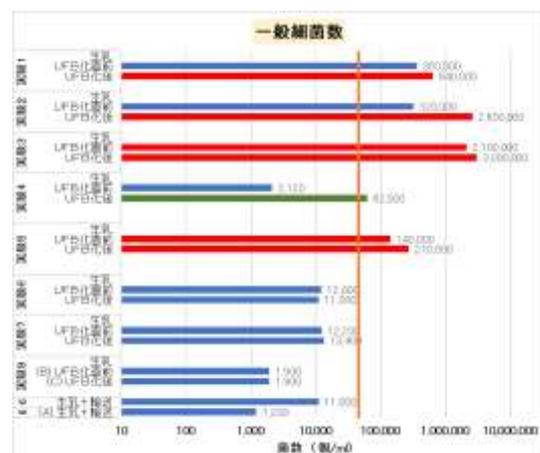
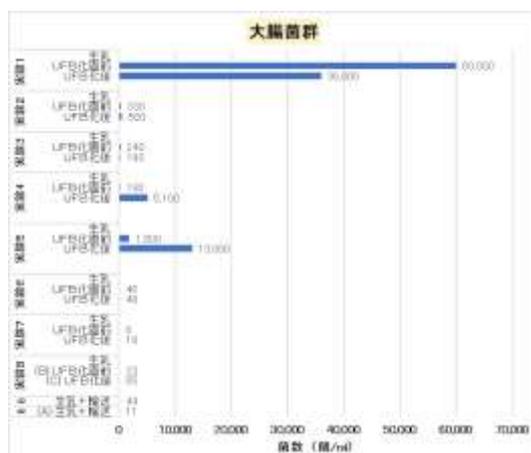
島津製作所 SALD-300V-WJA1:V1.20
 測定原理 レーザ回折・散乱法
 光源 半導体レーザー (波長 405nm)

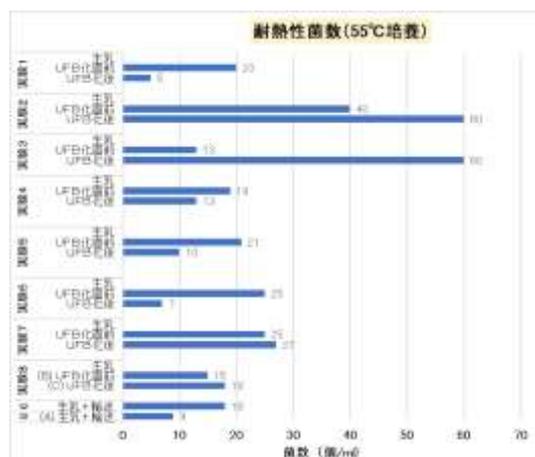
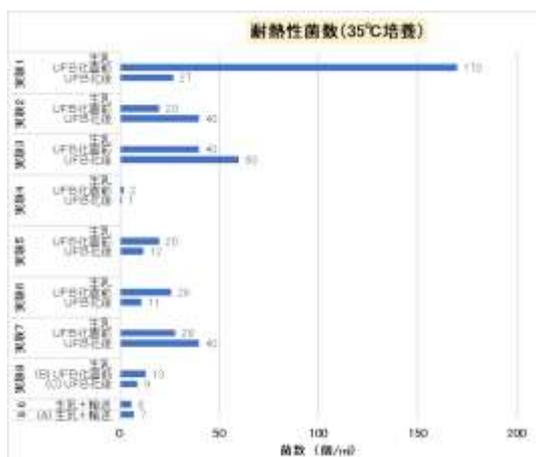
前もって設定された基準とは生乳やUHT牛乳(高温殺菌)などの標準的な風味のことである。この評価法は IDF STANDARD99C 採点に基づいて行っている。
 IDF: 国際酪農連盟



②微生物検査

脱気工程を省略した6回目以降、一般生菌数を乳等省令基準値の5万個/ml以下に抑えることができた。
 課題：大腸菌群は6回目以降も検出され（それぞれ48個、18個、65個）、乳等省令に定められた規格をクリアすることができなかった。
 原因としては、北海道～京都までの移送に片道3日係ることで、バクテリアの少量の増殖が想定されること、原乳に少量ながら含まれる大腸菌の殺菌が現状では十分でないことを意味する。



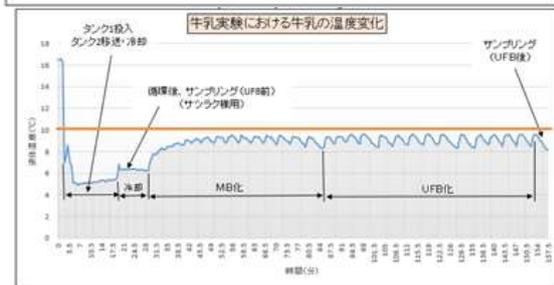


③ 処理液の温度管理

UFB化4回目 (1、2、3回目もほぼ同じである)

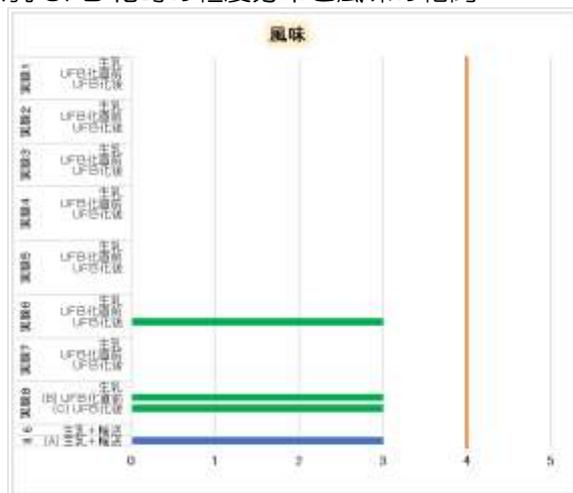


UFB化5回目



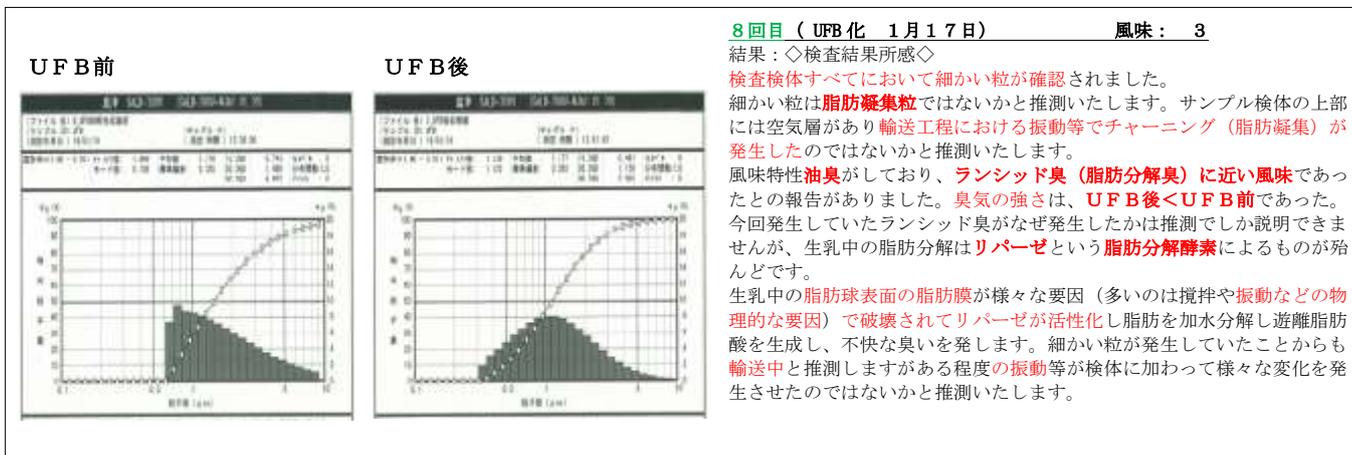
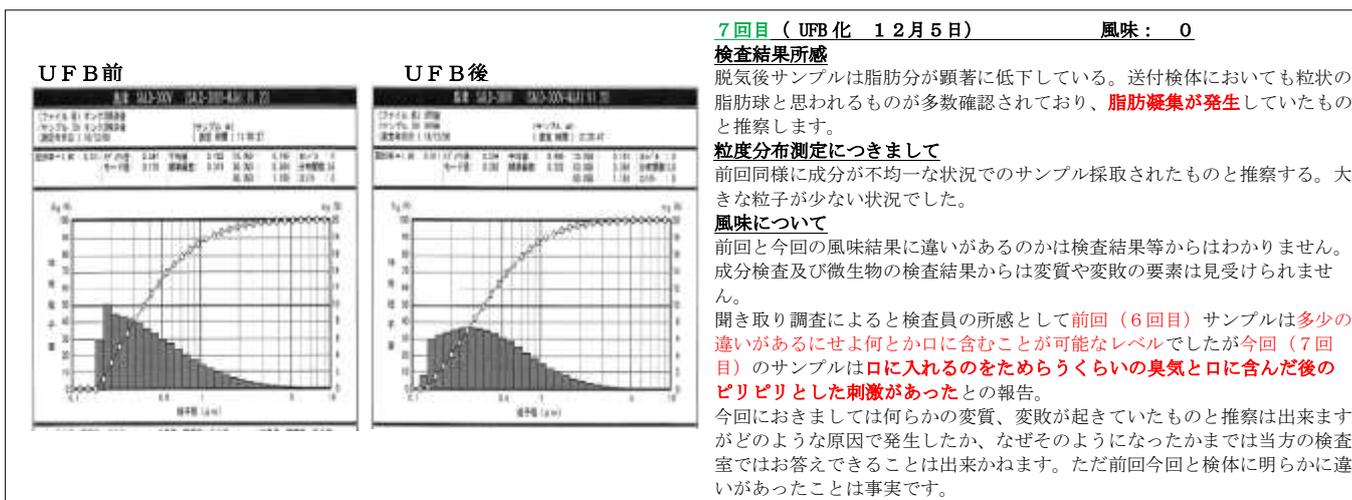
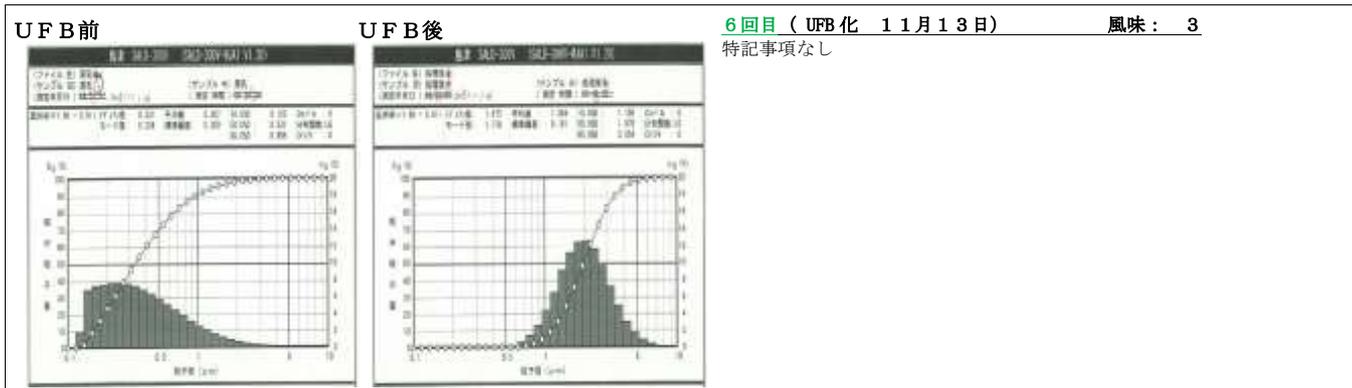
UFB化6回目 (7回目、8回目もほとんど同じ)

④ 原乳 UFB 化時の粒度分布と風味の相関



粒度分布

原乳提供者で、乳業メーカーであるサツラク農業協同組合様の官能検査担当者コメントは以下のとおりであった。



2-9-2 緑茶、オレンジジュースのUFB化による成分比較/官能比較検査評価

①緑茶のUFB化による成分分析

緑茶をUFB化したことによる下記主成分の変化は認められなかった。

詳細は下表のとおり。分析：一般財団法人日本食品分析センターに委託。

2019年2月20日に提出した分析サンプルの測定結果

分析試験項目	緑茶 UFB前	緑茶 UFB後	注釈	分析方法
総アスコルビン酸 (総ビタミンC)	23 mg/100g	23 mg/100g	1	高速液体クロマトグラフィー
テアニン	5 mg/100g	5 mg/100g		アミノ酸自動分析法
タンニン	0.06 g/100g	0.06 g/100g	2	…
無水カフェイン	0.013 g/100g	0.012 g/100g		高速液体クロマトグラフィー
エピガロカテキンガレート	6.6 mg/100g	6.4 mg/100g		高速液体クロマトグラフィー

注1：ヒドラジンで誘導化した後測定した

注2：農林水産省茶業試験場制定「茶の工程分析法」

②オレンジジュースのUFB化による成分分析

結果：オレンジジュース（濃縮還元ジュース）をUFB化したことによる主成分の変化は認められなかった。分析：一般財団法人日本食品分析センターに委託。

2019年2月22日に提出した分析サンプルの測定結果

分析試験項目	オレンジジュース UFB前	オレンジジュース UFB後	注釈	分析方法
カリウム	188 mg/100g	183 mg/100g		原子吸光光度法
チアミン（ビタミンB1）	0.07 mg/100g	0.07 mg/100g	1	高速液体クロマトグラフィー
ビタミンB6	0.057 mg/100g	0.055 mg/100g	2	微生物定量法
総アスコルビン酸 (総ビタミンC)	30 mg/100g	29 mg/100g	3	高速液体クロマトグラフィー
葉酸	19 μg/100g	19 μg/100g	4	微生物定量法
β-クリプトキサンチン	113 μg/100g	106 μg/100g		高速液体クロマトグラフィー
ヘスペリジン	46 mg/100g	42 mg/100g		高速液体クロマトグラフィー

注1：チアミン塩酸塩として。

注2：使用菌株：Saccharomyces cerevisiae(S. urvarum) ATCC 9080

注3：ヒドラジンで誘導化した後測定した

注4：使用菌株：Lactobacillus rhamnosus(L. cssei) ATCC 9769

③緑茶のUFB化による官能比較

結果：外観検査上からは少し薄く透明感があり、沈殿物が認められた。

お茶の官能試験 写真まとめ

トスレック株式会社研究開発部
2019/2/25

お茶の官能試験アンケート結果まとめ

トスレック株式会社研究開発部
2019/2/19

◇お茶UFB前・後比較写真

2/19生成後撮影
①UFB前
②MB後
③UFB後30分
④UFB後60分
少しであるが60分後が薄く透明感がある。

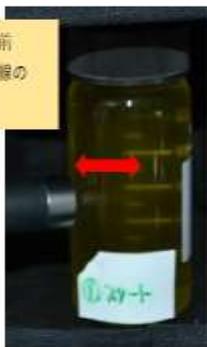


2/25撮影
①UFB前
②MB後
③UFB後30分
④UFB後60分
全体的に透明感が増し下に茶葉らしき沈殿物が増えた。



◇お茶UFB前・後 レーザー光線通過比較写真

① UFB前
レーザー光線の光が短い



③ UFB前
レーザー光線の光が長い



官能試験／お茶のUFB化実験前後の比較

試験の目的：市販飲料S社お茶のUFB化有り・無しで違いが出るのか。
日本食品分析センター様の成分分析も含めて、UFB化による成分の違いや官能検査を行う事で、当日と翌日の風味などの差を確認する。
実験方法：お茶を非加熱殺菌装置にて二酸化炭素でUFB化することで殺菌効果を狙う。

日時	2019年 2月 19日	検査実施者名	古旗部長、佐々木次長
場所	研究開発部		山下次長、中川さん、野澤
項目	A. お茶UFB前	B. お茶UFB後 (60分運転)	
見た目 色、立ちろ	お茶の色 普通 少し濃い Bより濃い、茶の成分の沈殿有り	お茶の色が薄い A、Bの見た目の変化無し 若干濁りを感じる Aより透明感有り	
臭い	お茶の豊かな香り 普通 Bより臭いが濃い お茶の香り有り	お茶の香りが薄い お茶の香りが少ない Aより臭いが薄い 少し薄い	
口に含んだ 感想	美味しい 普通 普段の味 甘み、旨味有り 飲み慣れた味	炭酸のお茶は初めのだが美味しくない 弱い炭酸水 炭酸水のお茶 炭酸お茶はありえないが 普段飲む炭酸とは違う刺激 酸味がある	
所感	飲み慣れた味で美味しい 普通 違和感なく飲める	癖いな味 60分は製造過程で白濁 ビリビリした感覚 気の抜けた炭酸水 飲料としては不適 食感、味覚を変化させる 香りの低下が気になる 味、香り共に価値を低下げる方向では 問題あり 紙コップに注ぎ時間が経つと小さい 微細な泡が紙コップに付く 炭酸泉の源泉に近い味 翌日の方が口に刺激が有り飲みにくい	
レーザー光線	LEDのレーザーポインター光線が5~6割通る	LEDのレーザーポインター光線が7~8割通る	

* お茶は数用せず吐き出して下さい。
* A. お茶UFB化前、B. お茶UFB化後で確認する。

④オレンジジュースのUFB化による官能比較

結果：お茶同様にUFB化すると沈殿物が増加する傾向にあることが判明した。

オレンジジュースの官能試験 写真まとめ

トスレック株式会社研究開発部
2019/2/25

◇オレンジジュースUFB前・後比較写真



2/21撮影

①スタート時 ②HMB後 ③UFB後30分 ④UFB後60分

写真ではわかりにくいですが、①分離していない。②～順に④が半分位分離している。



2/25撮影

①スタート時 ②HMB後 ③UFB後30分 ④UFB後60分

写真ではわかりにくいですが、①④が半分以下に分離し②③が半分くらい分離している。

オレンジジュースの官能試験アンケート結果まとめ

トスレック株式会社研究開発部
2019/2/21

官能試験/オレンジジュースのUFB化実験前後の比較

試験の目的： 市販飲料E社オレンジジュースのUFB化有り・無しで違いが出るのか。日本食品分析センター様の成分分析も含めて、UFB化による成分の違いや官能検査を行う事で、当日と翌日の風味などの差を確認する。
実験方法： オレンジジュースを非加熱殺菌装置にて二酸化炭素でUFB化することで殺菌効果を狙う。

日時	2019年 2月 21日	検査実施者名：古藤部長、佐々木次長
場所	研究開発部にて	山下次長、木村さん、中川さん、野澤（監）
項目	C、オレンジジュースUFB前	D、オレンジジュースUFB後（60分運転後）
見た目 色、泡立ち	オレンジ色が濃い 大きな泡がコップの周りにある	オレンジ色が上が薄く下が濃い 少し分離している Cより少し薄い 泡が無い
臭い	オレンジジュースの臭い 普通のオレンジジュースの臭い	オレンジジュースの臭い差はあまり感じない Cの方が臭いは薄い 柑橘の香りが少しCよりまっぽい
口に含んだ 感想	美味しいミカンの味甘みや、少しの苦みを感じる オレンジの苦みがあり舌に残る 酸味が有りミカンの味が強い 酸味より苦味をまつく感じ	微発砲炭酸ミカンジュース 舌に酸味と刺激がある オレンジの苦みがまろやかになり ずっさりした喉越し 炭酸のミカンジュース 舌に炭酸のピリピリ感はず味は無い Cより酸味は和らいだ お茶より弱い酸味の刺激有り
所感		オレンジジュースとして市販しても問題ない味 100%果汁の炭酸飲料は初めて飲んだ かなり炭酸が強い オレンジアより甘い Cよりマイルドになった。
分離	実験初日はスタート時～UFB後60分を4本並べると分離が一番少ない	UFB後60分が一番分離していた
レーザー光線	レーザー光線は通らない	レーザー光線は通らない

*：オレンジジュースは飲用せず吐き出して下さい。
*：A、オレンジジュースUFB化前、B、オレンジジュースUFB化後で確認する。

2-10 超高濃度 UFB 非加熱殺菌装置の信頼性検証

非加熱殺菌装置の繰り返し事前滅菌性能検証

本事業で開発、改造を行った脱気装置を含む非加熱殺菌装置 型 HMB-NHSO1 の CIP 洗浄、洗浄後の SIP 滅菌について滅菌水を使用し、手順書に基づいて抽出したサンプルを京都微生物研究所に送付し、培養後の一般生菌の検出 <1 となっていることを殺菌性能検証および原乳 UFB 化試験前に実施した後、殺菌性能検証を実施した。

その結果、手順書確定後の全ての実験に於いて、事前評価基準値を超えたことはなく、非加熱殺菌装置としての信頼性は確保できていると判断をしている。

また、ファインバブル発生用循環ポンプについて、メカニカルシールの破損により、液漏れが発生した。この防止対応策として、破損要因となる事象に対して PLC 制御プログラムでインターロック機能を組み込んだ。

成果としては、以下のとおり。

- ① CIP定置洗浄および蒸気によるSIP定置滅菌のシステムを確立し、装置を無菌状態に保持することが可能となった。
- ② 定期的に装置を分解点検し部品類の耐久性を確認した。
- ③ 細菌の温床となる箇所の特定し、分解点検清掃を含む運転管理ノウハウを蓄積し、マニュアルを作成した。
- ④ バブル圧壊部の超音波振動による溶接部クラック発生での液漏れ対策のため、溶接を使用しないシール構造を試作評価し、その後この改良型での連続試験でクラック発生は認められていない。

第3章 全体総括

3-1 補助事業の成果及びその効果

補助事業の効果

補助事業の効果として、以下の点が明らかとなった。

- ①飲料中のUFBの安全性の確認と、各種の既存飲料中にはUFBが存在し、特に炭酸においては高濃度のUFBが存在することを明らかにした。
- ②純水下一般大腸菌、黄色ブドウ球菌の明らかな殺菌効果を共同研究機関である三重大学の協力により超高濃度ウルトラファインバブル(CO₂を用いたUFB)による非加熱殺菌技術の一部が証明できた。
- ③殺菌／抗菌メカニズムの解明という視点では、以下の効果が挙げられる。
 - ・高純度空気で作製したFB水およびUFB水に顕著な洗浄・殺菌・増殖抑制効果はないという科学的検証データが得られた。但し、今後は高純度空気以外のガスの種類や液体の種類を変えて同様の実験を行い、検証を進めたい。
 - ・超音波を用いた非接触式バブル圧壊部での殺菌作用は、学術的・実用的側面から興味深い事実である。種々の飲料の殺菌に利用できる可能性が示された。
 - ・バブル圧壊部単独で「研究機器」としての需要も見込まれる。
- ④UFB化処理によって大腸菌および黄色ブドウ球菌は10⁶個から10²個程度にまで減少させることが明らかとなった。一方、芽胞菌であるセレウス菌(栄養細胞)に対しては、1桁程度の殺菌効果しか認められなかった。このため、2桁以上の殺菌効果を得られる工夫が必要である。
- ⑤本研究開発により、UFBオゾン(酸素から製造)水に安全性と極めて大きな殺菌効果があることが判明した。気中オゾン濃度が増加しないオゾンUFB生成法の特徴を活かして、食材の殺菌や機器洗浄等の飲料以外の分野においても事業化の検討を進めたい。
- ⑥本サポイン事業で「バブル圧壊＋紫外線等併用殺菌法」の複合殺菌技術検証と特許出願ができた。本特許技術はバブルによる剥離洗浄効果、バブルとウイルスやバクテリア等の選択的吸着脱離洗浄と殺菌料や紫外線等併用技術による殺菌効果向上を目的としたもので、殺菌料の濃度低下や単位時間当たりの殺菌処理能力の向上、更に、魚介類や畜産、養鶏など生体非加熱殺菌技術分野で次亜塩素酸などの薬剤殺菌では対応の難しい分野への展開も応用可能な技術を目指して開発して行きたい。
- ⑦本サポイン事業において8件の国内出願を行い、1件の特許権が確立した。この内の1件についてはPCT出願等により海外出願を行い、台湾では特許権が確立し、韓国、中国、米国、欧州では移行手続きが完了し、順次、確立していくものと考えている。これらの特許件は今後の事業化において大きな礎になるものと確信している。

3-2 補助事業の成果に係る事業化展開

TPP発効により海外の安価な原乳、乳製品や飲料等が急速且つ多量に輸入される状況になり、そのまま放置すれば食材の安心・安全を脅かす事態になりかねない状況になりつつある。

他方、日本食の特徴である食材の持つ本来の旨みを活かした和食文化の海外展開には、TPP発効は絶好のチャンスとなっている。

また、酒税法の改正により果実酒等が大幅に緩和される状況となっている。

これらの状況から、本事業で進めてきた「超高濃度ウルトラファインバブル(UFB)による非加熱殺菌装置の研究開発」は牛乳等飲料(茶、ジュース、スポーツ飲料、ビール等発泡飲料、スープ等)の食材を本来の成分と旨み、味覚、香り等を維持しながら飲みやすく長持ちをする究極の殺菌技術活用として技術的側面のみならず市場面からも大いに期待をされている。

3-3 事業化に向けた基本方針

本事業終了後の事業化に向け販売促進戦略を立案し社内体制強化を図ることで、事業の立ち上げを早期に実現する。販売促進戦略と社内体制強化の詳細は、以下のとおりとする。

①販売促進戦略

本事業は新規事業であり、ターゲットとする業界は現状取引がないため、本事業を通じて令和元年度中に日本食品機械研究会、一般社団法人日本食品機械工業会への入会、ホームページのリニューアル等で事業展開のための交流や情報収集を行い、新たな人脈の形成と認知度向上を図る。

その後、本事業最終年度の食品加工設備メーカーとの実用化検証と並行して食品業界に精通した食品用加工機専任の販売代理店を設定する。

併せて性能アピールのため新価値創造展、FOOMA JAPAN(国際食品工業展)、洗浄総合展等の展示会に積極的に出展する。この展示会やホームページ等で興味を持っていただいた顧客に対してデモンストレーションや貸出評価を行い、洗浄殺菌効果を明確にすることで導入を促進する。

近畿圏の顧客を中心に事業立ち上げし、その後、国内全域に販売促進を進め本事業終了後5年後)までには米国、EU、東南アジア等にグローバル展開する。

②社内体制強化

本補助事業終了後、事業展開に向けて直ちにそれまでの研究開発部からファインバブル事業部に体制を一新した。

新規事業拡大に伴い開発設計・製造環境・サポート体制等を整える必要があるため、増員により人材を確保するとともに工場社屋の移転も計画する。

【事業化体制】

事業化体制は以下のとおり。販売体制は代理店制度（国内3社（北海道/関東圏/関西圏に各1社配置）、海外4社（アジア、アメリカ、ヨーロッパ、オセアニア各1社配置）体制とする。非加熱殺菌法を実効的なものとしていくためには厚生労働省食品安全委員会や国際的にはIDF（国際酪農連盟「ベルギー」）への活動が必須となる。海外では酪農先進国であるデンマークを通じて実ビジネス展開を検討していく。

