

# 凍結濃縮装置の開発及びその性能評価

—実界面前進凍結濃縮法に基づく高品質で短時間に処理可能な実用装置—

松田章\* 笹木哲也\* 武春美\* 道嶋俊英\* 笠森正人\* 石崎佳奈\*\* 三輪章志\*\* 小柳喬\*\*\*  
宮脇長人\*\*\* 田上綾那\*\*\*\* 北川優里\*\*\*\* 松原肇\*\*\*\* 北野滋\*\*\*\*

高品質で短時間かつ少量でも処理可能な凍結濃縮装置の開発を目的に、小規模型、大規模型の2種類の界面前進凍結濃縮装置の試作を行い、その性能を評価するため清酒や果汁の濃縮試験を行った。その結果、小規模型でアルコール18.5%の清酒(原酒)を1段目の濃縮で23%に、さらに3段目までの濃縮を行うことで37%まで高めることができた。また、大規模型でリンゴ(秋星)、ルビーロマン等の果汁の糖度(Brix)12.1~19.5を23~29.9に濃縮できた。それぞれ1回の濃縮時間は小規模型、大規模型ともに2時間程度であった。さらに濃縮果汁から、補糖なしでアルコール10%以上の果実酒を製造できることを明らかにした。

キーワード: 凍結濃縮装置, 界面前進凍結濃縮法, 清酒, 果汁, 果実酒

## Development and Performance Evaluation of Freeze-Concentration Apparatuses - A Practical Apparatus for High Quality Concentration with Short Processing Time Based on Progressive Freeze-Concentration -

Akira MATSUDA, Tetsuya SASAKI, Harumi Take, Toshihide MICHIHATA, Masato KASAMORI, Kana ISHIZAKI, Shoji MIWA,  
Takashi KOYANAGI, Osato MIYAWAKI, Ayana TAGAMI, Yuri KITAGAWA, Hajime MATSUBARA and Shigeru KITANO

We developed two types of progressive freeze-concentration (PFC) apparatuses in small-scale and large-scale for the purpose of higher quality concentration and shorter processing times, even for a small quantity of samples. We concentrated sake and fruit juices. As a result, it was confirmed that sake containing 18.5% alcohol could be concentrated to 23% in one step and up to 37% through repeated concentration using the small-scale apparatus. Juices from "shyusei" apple and "ruby-roman" grape could be concentrated from 12.1~19.5 Brix up to 23~29.9 Brix, using the large-scale apparatus. The processing time was around 2hrs both for the small- and large-scale apparatuses. It was possible to produce wine with an alcohol content of higher than 10% without chaptalization (the addition of sugar) from the PFC-concentrated fruit juices.

Keywords : freeze concentration apparatus, progressive freeze-concentration, sake, fruit juice, wine

### 1. 緒 言

果汁等の液状食品に対して濃縮は、輸送や保管等の低コスト化の観点から必要不可欠な技術である。また、高品質な濃縮ができれば香味を高め、高付加価値製品につなげることができるが、現状では以下のような課題がある。濃縮法には大きく分けて3つの方法<sup>1-3)</sup>がある。第1は蒸発法で、低コストのため一般的によく用いられるが、加熱による香气成分等の揮散、ビタミンCなど熱に弱い栄養成分の損壊、変色、加熱臭の付加など、品質劣化が大きな課題となっている。第2は膜

濃縮法で、蒸発法に比べて非加熱であるため品質面では優れるが、圧力による高濃度濃縮には限界があり<sup>2)</sup>、さらに成分による損失が認められ、均一な成分濃縮は困難であることがわかってきた<sup>4)</sup>。第3は凍結濃縮法で、試料中の水分を氷結晶として除去するので、蒸発法や膜濃縮法と比較して香りと味を損なうことなく同時に濃縮できる点で優れている。

しかし、これまでの懸濁結晶法<sup>1)</sup>に基づいた凍結濃縮装置は、試料中の水分を掻き取り伝熱により微細氷結晶に生成させるための熱交換器と、微細氷結晶を大きく成長させるための再結晶槽及び氷結晶と濃縮液を分離するための洗浄装置よりなっており、この装置の

\*化学食品部 \*\*石川県農林総合研究センター農業試験場 \*\*\*石川県立大学 \*\*\*\*明和工業(株)

欠点として以下の点が挙げられる。再結晶工程を含むため処理時間が20時間以上と極めて長い。再結晶槽は滞留時間の長さに加えて精密な温度制御を、また洗浄装置も複雑な制御を必要とする。さらに、連続操作による大量生産に限られる<sup>5)</sup>。

これに対して界面前進凍結濃縮法は、試料中の水分を単一の氷相として成長させるため、濃縮液から容易に分離できる点で優れており、また装置化する場合も、これまでに小型化が可能で、ラボベースでは、処理時間も2~3時間に短縮できることを実証してきた<sup>6)</sup>。

そこで本研究では、この界面前進凍結濃縮法に基づき、幅広い処理容量に対応するため処理容量の異なる2種類の装置の試作を行った。本試作装置が、高品質で短時間に処理できる実用的な装置としての性能を有しているか、種々の試料を用いた濃縮試験により評価したので、その結果について報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 試作した凍結濃縮装置の基本性能

処理容量の異なる2種類の凍結濃縮装置の試作を行い、いずれも1回の濃縮時間の目標を前報<sup>6)</sup>に準じて2~3時間とした。図1に凍結濃縮装置の概略図を示す。

左図に小規模一体型(以下、小規模型)を示す。酒類をはじめ希少価値のある液状食品や果実を搾汁した果汁の濃縮など、少量処理を可能とすることを目的に、冷却装置やろ過装置を組み込んだ一体型とし、装置はバッチ式で1回の処理能力は5Lである。主冷却槽の前段に、予備冷却槽を設置し、ろ過装置は副産物の氷結晶から濃縮液の分離(回収率)を向上させるために、保冷機能を備えた遠心分離機能を有する分離装置とした。また、熱伝導性、食品用を考慮して試料容器の材質にステンレスを用い、冷媒用の外付け攪拌機を装備した。また、右図に大規模循環型(以下、大規模型)を示す。

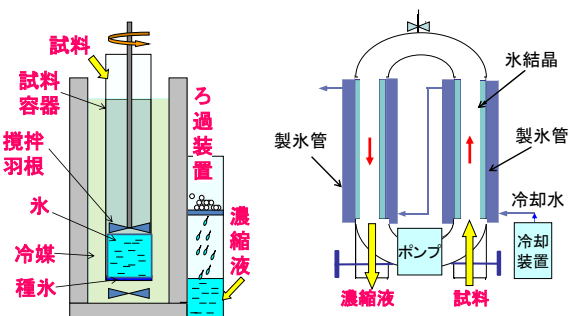


図1 凍結濃縮装置の概略  
(左：小規模一体型，右：大規模循環型)



図2 試作した凍結濃縮装置(小規模型)  
上：基本装置  
下：基本装置にろ過装置を追加した改良装置



図3 試作した凍結濃縮装置(大規模型)

ループ状に連結したステンレス製管内で試料を循環させ、2箇所直管(製氷管)を冷却することで試料中の水分を徐々に凍らせている。処理時間は、冷却温度と循環速度のプログラム制御により目標の2~3時間を目指した。さらに本装置は、製氷管のユニット本数を増やすことで、必要なスケールアップを行えることを特徴としている。1ループの基本処理容量は25Lであり、本試作装置では2本連結して50Lまで処理できる。試作した小規模型装置を図2に、大規模型装置を図3に示した。

### 2.2 試料

濃縮用試料として、清酒はアルコール濃度18.5%の市販原酒を、果実は石川県農林総合研究センター農業

試験場で育成された石川県のオリジナルリンゴ品種の秋星及びオリジナルブドウ品種のルビーロマン(2013年度産)の規格外品を用いた。さらに、同農業試験場産のリンゴ(MIX:品種混合)、巨峰、日本梨についても同様に濃縮に供した。

果汁の調製は、果実をブレンダー及びパルパーフィニッシャーで粉碎、裏ごしした後、必要に応じて酵素剤を加えて粘性低下処理を行い、珪藻土ろ過助剤を2%添加してろ過を行った。なお、清酒の濃縮は小規模型装置を用いて、また、果汁の濃縮は大規模型装置を用いて行った。

### 2.3 果実酒の発酵条件について

凍結濃縮した果汁は、63℃、30分で低温殺菌を行った後、終濃度100ppmの亜硫酸ナトリウムを添加し、発酵用原料とした。秋星及びルビーロマン果汁にはワイン用きょうかい酵母(OC-2)を、リンゴ(MIX)、巨峰、日本梨には市販ワイン酵母(アドバンストブリューイング社、いずれも*Saccharomyces cerevisiae*)をYPD培地(酵母エキス1%、ポリペプトン2%、グルコース2%)で前培養し、遠心集菌後、各果汁で洗浄し、同果汁に懸濁させたものを添加した。発酵条件は、秋星及びルビーロマンは15日間、リンゴ(MIX)は6日間、巨峰は11日間、日本梨は13日間、それぞれ25℃で発酵させた。

### 2.4 分析方法

糖度(Brix)は糖度計((株)アタゴ・PAL-J)、有機酸は陰イオン交換カラム(日本ダイオネクス(株)・IonPac ICE-AS6)及び電気伝導度検出器を備えた有機酸分析計(日本ダイオネクス(株)・ICS-1500)を用いて、流速1.0mL/minの0.4mmol/Lヘプタフルオロ酪酸を移動相とし、カラム温度18℃で分析した。また、アルコールは簡易アルコール分析器アルコメイト(理研計器(株)・AL-2)、アミノ酸はアミノ酸分析計((株)日立製作所・L-8900)で分析した。なお、有機酸、アミノ酸の分析用試料はいずれもフィルターユニット(日本ミリポア(株)・Millex 0.45 μm)でろ過した。香氣成分については、清酒はヘッドスペース法で、果汁は固相マイクロ抽出法で採取した香氣成分をガスクロマトグラフ質量分析計(アジレントテクノロジー(株)・7890A/5975C)により分析した。各条件を以下に示す。

・ヘッドスペース法条件

試料量：5 ml, 温度：50℃, 温置時間：30 min, 採

取量：1 ml, 内標準試料：3-ペンタノール(終濃度40 ppm, アルコール類定量用)及びカプロン酸メチル(終濃度4 ppm, エステル類定量用)

・固相マイクロ抽出法条件

試料量：5 ml, 温度80℃, 温置時間：10 min, 抽出時間：30 min, ファイバー：DVB/Car/PDMS(膜厚30 μm, 長さ1 cm), 内標準試料：シクロヘキサノール(終濃度20 ppm)

・GC-MS条件

キャリアガス：ヘリウム(流速1.2 ml/min), カラム：DB-WAX 60 m×0.25 mm×0.15 μm, オープン：40℃(10 min)→5℃/10 min→230℃(12 min), 注入口温度：230℃, イオン化法：EI法

## 3. 結果及び考察

### 3.1 清酒(原酒)の濃縮

試作した小規模型装置の性能評価を行う目的で、本装置を用いて清酒(原酒)の3段濃縮を行った。そのときのアルコール濃度の変化を図4に示す。1段目の濃縮でアルコール濃度18.5%を23.1%に、2段目の濃縮で31.4%に、さらに3段目の濃縮で37.0%まで高めることができた。前報<sup>6)</sup>の小型装置よりも冷却能力を高め、冷媒用攪拌機を設置し、温度差を2.0~3.5℃することで、1段、2段、3段の各濃縮時間はそれぞれ112分、100分、116分となり、目標の2~3時間を達成することができた。このとき、アルコールを指標とした各段階の濃縮率は、1.2~1.3倍であった。

表1に濃縮前後の有機酸成分の分析結果を示す。リンゴ酸、乳酸、コハク酸は清酒を構成する主たる有機酸で、各段階の濃縮率はアルコール濃縮率1.2~1.3とほぼ同程度であった。しかし、クエン酸、酢酸は3段目の濃縮率が高くなり、成分または濃縮段階によって

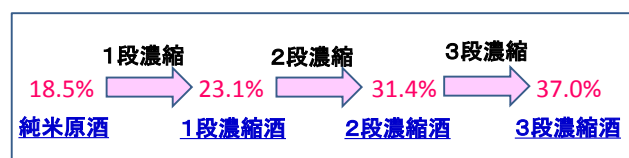


図4 清酒の濃縮

表1 濃縮酒の有機酸(mg/100mL)

	ビルビン酸	クエン酸	リンゴ酸	乳酸	ピログルタミン酸	酢酸	コハク酸	合計
原酒(元酒)	tr	10	34	43	10	10	44	151
1段濃縮酒	N.D.	8	43	59	17	13	56	196
2段濃縮酒	N.D.	9	53	69	16	17	61	225
3段濃縮酒	N.D.	25	72	87	20	57	79	340
3段濃縮酒水	tr	1	2	2	tr	5	2	12
3段濃縮還元液	N.D.	14	41	51	12	36	50	204

N.D.:not detected, tr:≤0.5

濃縮率に違いが見られた。これらについては再現性を検討する必要があるが、成分濃度の比較的高いものはアルコール濃縮率に準じた濃縮率を示し、濃度の低い成分はこの濃縮率からはずれる傾向が見られた。他成分より濃度の低い成分で濃縮値が高くなる原因として、濃縮過程で濃度の高い成分に追随した挙動を示すか、あるいは、酢酸分子のように水素結合による二量体を形成し、集合体分子としての挙動を示すことが考えられる。逆に、成分値が低い場合は、その成分が氷中にとりこまれやすくなることが考えられる。

しかし、3段濃縮酒(アルコール37.0%)を濃縮率に応じて希釈して元の濃度(アルコール18.5%原酒)にまで戻した液(濃縮還元液)は、酢酸が36mg/100mLとやや高くなったが、それ以外のほぼすべての成分は原酒と同程度の濃度を示した。よって、本凍結濃縮法による清酒の濃縮では、主な有機酸成分は保持されていた。

表2に、清酒の濃縮前後に含まれるアミノ酸の分析結果を示す。ほぼすべての成分において、各段階の濃縮率はアルコール濃縮率とほぼ同程度であった。また、3段濃縮還元液と原酒との比較でも有機酸と同様、ほぼすべての成分で同程度の値を示した。しかし、1段及び3段濃縮酒のグルタミンの値がやや高くなったことは、グルタミンは成分濃度が低く、有機酸で述べたような理由が考えられる。総遊離アミノ酸量についても、1段、2段、3段の各濃縮率は1.2~1.4で、アルコール濃縮率とほぼ同程度であった。

表3に清酒の濃縮前後の香り成分の分析結果を示す。2段濃縮酒から3段濃縮酒において、イソブタノールやイソアミルアルコールの値が減少するなど、成分や濃縮段階によって濃縮率に違いが見られた。この原因と

表2 濃縮清酒のアミノ酸 (mg/100mL)

アミノ酸	原酒	1段濃縮酒	2段濃縮酒	3段濃縮酒	3段濃縮酒(氷)	3段濃縮酒(濃縮還元)
アスパラギン酸	4.4	5.5	6.8	9.2	2.0	4.2
トレオニン	2.5	3.1	3.8	5.2	1.3	2.7
セリン	4.2	5.4	6.4	8.7	2.2	4.6
アスパラギン	6.5	8.3	10	13	3.8	7.9
グルタミン酸	13	17	20	28	4.5	9.6
グルタミン	1.3	2.5	2.9	5.6	3.4	7.2
グリシン	9.5	12	15	20	4.7	11
アラニン	19	25	30	40	10	22
バリン	6.3	8.2	9.8	13	3.2	7.1
システチン	1.7	2.4	2.8	4.1	1.0	2.1
メチオニン	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡	ND	痕跡
イソロイシン	4.1	5.4	6.5	9.0	2.0	4.7
ロイシン	8.5	11	13	18	4.4	9.7
チロシン	6.8	8.9	11	15	3.5	7.7
フェニルアラニン	3.9	4.9	5.8	7.9	2.2	4.4
トリプトファン	ND	ND	ND	痕跡	ND	ND
リジン	3.4	4.5	5.4	7.4	1.7	3.9
ヒスチジン	3.2	4.2	4.8	7.1	1.6	3.7
アルギニン	4.3	5.3	6.3	8.6	2.5	4.5
プロリン	12	15	18	25	6.2	14
総遊離アミノ酸	114	149	178	245	60	130

表3 清酒の濃縮前後の香り成分 (mg/L)

	AcOEt	n-PrOH	i-BuOH	AcO-i-Am	i-AmOH	CaprOEt
原酒	84	55	64	2	192	3
1段濃縮酒	119	73	84	3	234	4
2段濃縮酒	190	105	114	4	275	5
3段濃縮酒	225	112	104	3	190	4
3段濃縮酒の氷	20	23	29	1	94	1
3段濃縮還元液	66	48	54	2	164	2

AcOEt: 酢酸エチル、n-PrOH: n-プロパノール、i-BuOH: イソブタノール、AcO-i-Am: 酢酸イソアミル、i-AmOH: イソアミルアルコール、CaprOEt: カプロン酸エチル

して、成分濃度がより高い濃縮酒では、高濃度で存在するエタノールに加え、他の香り成分も飽和状態に達し、成分による揮発性に優先度の差が生じるため、ヘッドスペース法の測定限界を超えていた可能性が高い。このことは、3段濃縮酒の濃縮還元液と原液との香り成分の比較から、ほぼ同程度の値を示したという結果により裏付けられるものと考えられる。

したがって、小規模型装置による清酒の濃縮においては、有機酸、アミノ酸、香り成分の香味成分に対する主要な成分は保持されていることが確認された。

### 3.2 果汁の濃縮

試作した大規模型装置の性能評価を行う目的で、本装置を用いて果汁の濃縮を行った。

#### 3.2.1 リンゴ(秋星)果汁

凍結濃縮の結果、リンゴ(秋星)の糖度(Brix)は12.8から25.3となり、濃縮率は2.0倍であった。このときの濃縮時間は、冷却温度と循環速度の最適化により製氷状態を制御することで123分となり、目標の2~3時間を達成できた。

表4に濃縮前後の有機酸の結果を示す。主成分のリンゴ酸は528mg/100mLから1185mg/100mLへ2.2倍に、クエン酸は4mg/100mLから11mg/100mLへ2.8倍にそれぞれ濃縮され、成分によって濃縮されやすさに違いが見られた。しかし、濃縮還元液のリンゴ酸、クエン酸はそれぞれ572mg/100mL、5mg/100mLであり、原液の各有機酸濃度とほぼ同程度である。これにより、濃縮後にも有機酸成分は保持されていることが確認された。

図5に濃縮前後の香り成分を示す。香り成分の主成分はヘキサノールで、次にtrans-2-ヘキセノールなどが

表4 リンゴ(秋星)果汁の濃縮前後の有機酸

	(mg/100mL)					
	クエン酸	リンゴ酸	乳酸	酢酸	コハク酸	合計
濃縮前	4	528	2	N.D.	N.D.	534
濃縮後	11	1185	6	N.D.	N.D.	1202
氷	3	252	1	N.D.	N.D.	256
濃縮還元液	5	572	2	N.D.	N.D.	579

N.D.: not detected

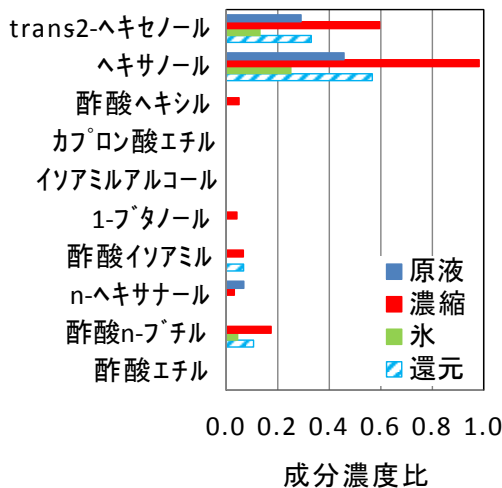


図5 リンゴ(秋星)果汁の香気成分(濃縮前後)

多く含まれていた。濃縮後の香気成分は、原液に対してヘキサノールが2.2倍、trans-2-ヘキセノールが2.1倍となり、糖度(Brix)による濃縮率2.0とほぼ同程度である。濃縮還元液は原液との比較で同程度の値を示し、有機酸と同様、香気成分も保持されていた。

### 3. 2. 2 ルビーロマン果汁

ルビーロマン果汁(Brix14.6)を用いて凍結濃縮を行った結果、濃縮後の糖度(Brix)は23.0となり、糖度(Brix)による濃縮率は1.6倍であった。このときの濃縮時間は120分で、リンゴ(秋星)果汁の場合と同等であった。表5に濃縮前後の有機酸の結果を示す。主成分であるリンゴ酸は170mg/100mLから300mg/100mLへ1.8倍に、クエン酸は3mg/100mLから8mg/100mLへ2.7倍になり、成分によって濃縮率に違いが見られた。しかし、濃縮還元液では、コハク酸がやや低い値となったが、それ以外のほぼすべての成分では原液と同程度であり、有機酸成分は保持されていた。

また、濃縮前後の香気成分について図6に示す。ルビーロマン果汁における香気成分の主成分は酢酸エチルで、次にn-ヘキサナールや2-ヘキセナールなどが多く含まれていた。濃縮後の果汁では、成分による濃縮率にやや違いが見られたが、濃縮還元液と原液との比較では同程度の値を示し、有機酸と同様に香気成分も

表5 ルビーロマン果汁の濃縮前後、発酵液の有機酸 (mg/100mL)

	クエン酸	リンゴ酸	乳酸	酢酸	コハク酸	合計
濃縮前	3	170	N.D.	7	3	182
濃縮後	8	300	N.D.	4	4	316
氷	0	88	N.D.	2	1	91
濃縮還元液	4	187	N.D.	6	1	198

N.D.:not detected

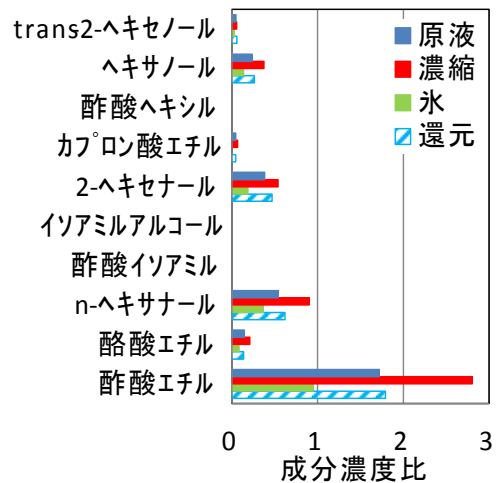


図6 ルビーロマン果汁の香気成分(濃縮前後)

保持されている。

以上のことより、大規模装置でも、リンゴ(秋星)、ルビーロマンの両果汁を2時間程度で糖度(Brix)23以上に濃縮でき、有機酸成分、香気成分に対しても、清酒と同様に成分が保持された。本手法を用いることで、自然の状態ですべての成分が凍結したまま凍結したぶどうを使うアイスヴァインを工業的に製造することも期待できる。

### 3. 3 濃縮果汁の果実酒への応用

リンゴ(秋星)果汁の原液(Brix12.8)を大規模装置で凍結濃縮して得られた濃縮リンゴ果汁(Brix25.3)を原料として、ワイン酵母による15日間の発酵を行ったところ、アルコール分10.6%の果実酒を得た。同様に、ルビーロマン果汁(Brix14.6)の濃縮果汁(Brix23.0)についてもアルコール分11.5%の果実酒を得た。いずれも発酵によって、乳酸、コハク酸、酢酸が増加した。

図7にリンゴ(秋星)果汁、図8にルビーロマン果汁の濃縮液及びその発酵液(果実酒)の香気成分濃度比を示す。発酵により、いずれも元々果汁に含まれていた香気成分は、ルビーロマンの酢酸エチルなどを除いて減少または消失し、イソアミルアルコールやフェネチルアルコール、カプリル酸エチルなどの多くの香り成分が新たに生成した。

その他、リンゴ(MIX)、巨峰、日本梨の濃縮液を果実酒へ応用した結果を表6に示す。いずれの果汁も2時間程度で糖度(Brix)が25以上に濃縮され、有機酸や香気成分が変化せずに保持されていた。本濃縮装置により得られた生果汁の濃縮液を発酵させた果実酒のアルコール濃度は、いずれも補糖なしで10%以上を示していた。これは市販リンゴ酒として有名なシードルワイ

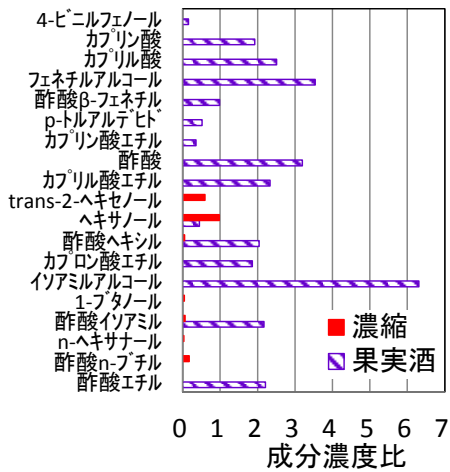


図7 リンゴ(秋星)濃縮果汁及びその発酵果汁の香り成分



図8 ルビーロマン濃縮果汁及びその発酵果汁の香り成分

表6 濃縮果汁の糖度及び発酵果汁のアルコール濃度

試料種類	凍結濃縮果汁 Brix	濃縮時間(min)	濃縮率	発酵濃縮果汁 アルコール(%)	発酵時間(日)
リンゴ(MIX)	13.7 → 25.5	130	1.9	11.6	6
巨峰	19.5 → 29.9	130	1.5	16.9	11
日本梨	12.1 → 26.1	110	2.2	11.9	13

ンのアルコール濃度5~5.5%より、はるかに高い値である。

このように、本凍結濃縮装置を用いれば、生果汁の香味成分を損なわずに高品質に濃縮(糖濃度を高めること)が可能であり、補糖なしでアルコール10%以上の果実酒を製造できる。

#### 4. 結 言

短時間で高品質に処理できる2種類の凍結濃縮装置

を開発し、以下の成果を得た。

- (1)有機酸、香り成分などを保持した高品質な濃縮が、1回当たり2時間程度で可能な少量対応の一体型装置(処理容量5L)と大量対応の大規模型装置(基本処理容量25L, 連結・増大可能)を試作した。
- (2)小規模型装置は、アルコール濃度18.5%の清酒(原酒)を3段濃縮により37%まで高めることができる。
- (3)大規模型装置は、リンゴ(秋星)、ルビーロマン、リンゴ(MIX)、巨峰、日本梨の生果汁を糖度(Brix)12.1~19.5から23~29.9に高めることができる。
- (4)本凍結濃縮装置により、低糖度の生果汁からでも補糖なしでアルコール10%以上の果実酒を製造することが可能である。

#### 謝 辞

本研究は、平成24~26年度にかけて経済産業省の戦略的基盤技術高度化支援事業によって実施した研究内容の一部である。関係各位に感謝の意を表します。

#### 4. 参考文献

- 1) 宮脇長人. 凍結濃縮法の最近の進歩とその応用. 冷凍, 2002, vol.177, no.891, p.31-37
- 2) 宮脇長人. 食品技術講座4, 最新化学工学基礎講座 第9回濃縮の基礎. 2008, vol.83, no.974, p.880-883
- 3) 宮脇長人. 界面前進凍結濃縮—液状食品の新しい高品質濃縮法. FOODS & FOOD INGREDIENTS JOURNAL OF JAPAN. 2009, vol. 214, no.2, p.125-130
- 4) Mihiri Gunathilake, Kiyomi Shimmura, Michiko Dozen and Osato Miyawaki. Flavor Retention in Progressive Freeze-Concentration of Coffee Extract and Pear (La France) Juice Flavor Condensate. Food Science and Technology Research, 2014, vol.20, no.3, 547-554
- 5) 宮脇長人. 新しい高品質濃縮法—界面前進凍結濃縮法の開発とその食品新素材への応用. ソフト・ドリンク技術資料. 2014, no. 3, p.17-31
- 6) 松田章, 井上智実, 笠森正人, 中村静夫, 田上綾那, 松原肇, 北野滋, 宮脇長人, 矢野俊博. 清酒の濃縮に関する研究—界面前進凍結濃縮装置の試作と濃縮条件の検討—. 石川県工業試験場研究報告. 2013, no. 62, p.57-60