



Title	2軸スクリー装置における食品加工に関する研究
Author(s)	五十部, 誠一郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第4188号
Issue Date	1992-12-25
DOI	<a href="https://doi.org/10.11501/3065026">https://doi.org/10.11501/3065026</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/51174">https://hdl.handle.net/2115/51174</a>
Type	doctoral thesis
File Information	000000257064.pdf



2軸スクリー装置による食品加工に関する研究

五十部 誠一郎

①

## 2軸スクリー装置による 食品加工に関する研究

五十部誠一郎

# 目次

緒論	・・・・・・・・	1
第1章 序論		
1.1	エクストルーダー及びスクリュ－圧搾機の歴史と 現在の食品加工機としての位置づけ	・・・・・・・・ 3
1.2	エクストルーダーの構造と既往の研究	・・・・・・・・ 8
1.2.1	装置について	・・・・・・・・ 8
1.2.2	内部現象及び食品加工について	・・・・・・・・ 16
1.3	スクリュ－圧搾機の構造と既往の研究	・・・・・・・・ 20
1.3.1	装置について	・・・・・・・・ 20
1.3.2	内部現象及び食品加工について	・・・・・・・・ 23
1.4	研究の背景と目的	・・・・・・・・ 26
第2章	2軸エクストルーダーによる高水分タンパク組織化物の開発	
2.1	緒言	・・・・・・・・ 28
2.2	脱脂大豆の組織化物製造	・・・・・・・・ 30
2.2.1	pH及び処理温度の影響を検討する予備実験	・・・・・・・・ 30
2.2.2	繰り返し押出しによる組織化物の再構成	・・・・・・・・ 35
2.3	タンパクの射出成形物の製造	・・・・・・・・ 52
2.4	ブナザケの組織化物の製造	・・・・・・・・ 73
2.5	組織化物の繊維性形成メカニズム	・・・・・・・・ 82
第3章	2軸圧搾機の開発	
3.1	緒言	・・・・・・・・ 86
3.2	2軸圧搾機について	・・・・・・・・ 87

第4章 2軸圧搾機の搾油・脱水技術の開発

4.1 緒言 . . . 93

4.2 油糧種子からの搾油 . . . 94

4.2.1 脱殻ヒマワリ種子の搾油実験 . . . 94

4.2.2 ナタネ種子の搾油実験 . . . 106

4.3 魚油の製造 . . . 111

4.3.1 イワシの脱水及び搾油 . . . 111

第5章 総括 . . . 118

引用文献 . . . 120

謝辞 . . . 123

食品工業においてスクリー系の加工機は、材料の搬送処理を中心に古くから用いられている。このスクリー系の装置は、その起源を数世紀にまで遡ることができる。機械工学の進歩により加工技術等が向上することで、スクリー系装置は、その連続性と優れた材料搬送性に様々な作用を付与した加工装置として登場してきた。本研究で報告するエクストルーダー（スクリー押し機）、スクリー圧搾機（スクリープレス）などが現在用いられている。内部の現象解析や材料の挙動についての研究は今世紀初期まで行われていない。これらの研究は、ゴムやポリマーといった工業用資材の製造にスクリー系装置が用いられるようになってから始められた。食品等の複合系の材料において、これらの研究がなされなかったのは材料の物性等が捉えられなかったことにある。1930年代からスクリー系加工機として主要なエクストルーダーはプラスチック・ゴム工業を中心に用いられていた。最近、装置が高級化することで食品工業での新たな利用法、さらには食品等の有機物を材料とした場合の内部現象を解明しようとする動きが起こってきた。その1つが2軸エクストルーダーの導入であり、デンプン材料での内部現象の研究である。エクストルーダーを利用したタンパク素材の製造、特に植物タンパクの品質転換による組織化タンパクは、多様化する食生活の中で注目を集めてきているが、その組織形成等の内部現象は明らかではない。本研究は特に高水分タンパク素材の組織化のメカニズムを明らかにするとともにそれらの特性を生かした新技術の開発を試みた。さらに2軸エクストルーダーの作用の1つでもある圧縮による材料からの固液分離を試みたところ、通常のスクリープレスには見られない現象が確認された。そこで固液分離用に装置を試作し、油糧種子からの搾油実験を中心に検討を加えた。この2軸圧搾機による固液分離に関する研究は、現在そして今後深刻な問題となると考えられる食品産業での高水分廃棄物の効果的処理に有効な知見を得るものであると考える。

第1章では本研究に関連するエクストルーダー及び圧搾機に関して食品加工での位置づけ及び装置の歴史及び原理・構造と既往の内部現象の研究例について記述するとともに、現状での問題点と本研究の目的を述べる。

第2章では本研究で主に明らかとなった2軸エクストルーダーによる高水分のタンパク組織化物の製造実験に関して検討した結果を述べる。第3章では2軸エクストルーダーの持つ機能を応用して開発した2軸圧搾機の開発について述べる。第4章では2軸圧搾機による固液分離に関する研究について植物種子の搾油、鰯からの搾油・脱水について述べ、第5章で総括する。

## 第1章 序論

### 1. 1 エクストルーダー及びスクリュウ圧搾機の歴史と現在の食品加工機としての位置づけ

エクストルーダーをはじめとするスクリュウ系の装置の歴史は古く、その起源はアルキメデスの水揚げポンプとされ、19世紀のぶどう搾汁機、ソーセージ作製機に装置の原型をみることができる。最近の食品・飼料の加工・調製に利用されているエクストルーダーの原型は、今世紀、それも数十年前に登場した。これらの装置開発においては、プラスチック加工でのエクストルーダーの技術進展が非常に強い影響を与えている。2軸エクストルーダーはイタリアLM P社Colomboによって考案され、1958年に日本へプラスチック加工用として導入されている。1930年代からのプラスチック加工用エクストルーダーの発展は、ポリバケツ、プラスチックケース、ビニール袋等製作のための押出し成形や射出成形の分野で華々しく、最近ではセラミック加工用にも使用されている。現在の食品用での原型は1930年後半とされ、1軸型を中心にまずマカロニ、スパゲティー等のパスタ類の製造に用いられはじめて、1940年代よりシリアル製造、そしてスナック類へと利用範囲が広がっていった。1950年代から現在のエクストルーダー使用用途の大きな割合を占める飼料、ペットフードの製造に用いられる。1970年代から本研究と関連する組織化植物タンパク質 (Textured Vegetable Protein: TVP) が製造されるようになった。同時期から2軸エクストルーダーが食品用に改良され、TVPをはじめとする製品に使用されるようになる。1. 2に述べるが、この2軸エクストルーダーは、装置内部での状態制御が従来の1軸型よりも容易であること、また使用できる材料の性状範囲が広いという利点を持っている。そのため、2軸エクストルーダーを利用した今までになかった加工法が登場すると共に内部での材料の変化等の研究もなされるようになった。

現在の食品加工におけるエクストルーダーの利用について説明する。専用機としてはパスタ製造機や膨化スナックの製造に用いられるパフマシンがあり、製造工程での主生産機として用いられている。さらにペットフードや朝食用シ

リアル、スナックといったデンプン加工品、TVPなどのタンパク加工品においては個々の専用機的な名称はないが、エクストルーダーが広く用いられている。最近ではこれらの工程において1軸型だけでなく、製品の形状の多様性から2軸エクストルーダーが導入され、処理量の多い生産機として稼働している。

2軸エクストルーダーの利用法では、2軸エクストルーダー内部での多くの機能を複合的に利用することで従来の食品加工工程では複数の装置を用いていた工程への応用もはじめられており、その1例は図1に示すキャンデーの製造工程<sup>1)</sup>である。現在では従来からの主生産機として用いられていた分野に加えて、優れた連続処理性や様々な機能を利用して生産効率を向上しようとする試みから多くの食品分野での応用が試みられており、今後食品加工機械として非常に大きな位置を占めることが予想されている。

一般的なエクストルーダーでの製造製品例を写真1<sup>2)</sup>に示す。現在ではこれに加えて、2軸エクストルーダーでの新たな製品として高水分系での組織化タンパク質、複雑な形状でのスナック類等が製造されはじめている。

国内の各食品加工工程で稼働しているエクストルーダー数は個々の業種による統計がないためにはっきりとしないが、小型のパフマシンのような専用機も含めると数百台となると予想される。本論文で対象とした2軸エクストルーダーに限定すると、国内で約120台(研究用の小型機も含む)が既に普及していると思われる。しかし、その40台前後は国公立の試験研究機関及び大学等に研究用として設置されており、さらに内部現象の基礎的解明はもとより応用開発等が必要な状況にあるといえる。わが国で食品関係で2軸エクストルーダーを用いた研究が開始されたのは1980年前半であり、その当時は国内での2軸エクストルーダーは10台にも満たなかった。現在、10年を待たずして装置の設置数が10倍以上となり、さらに研究が今なお盛んに行われていることにエクストルーダーの食品工業への期待の高さを感じざるを得ない。

一方、スクリー圧搾機は前述のぶどう搾汁機等を原型としてエクストルーダー以上に昔から現在まで食品工業をはじめ多くの産業で用いられてきた。これは装置自体の目的が固液分離(液状物と固形物の分離)であり、多くの産業で重要な単位操作であるためである。圧搾分離装置は固液分離装置の中でも遠心分離装置と共に食品産業で広く利用されている。圧搾装置の主要な様式を表

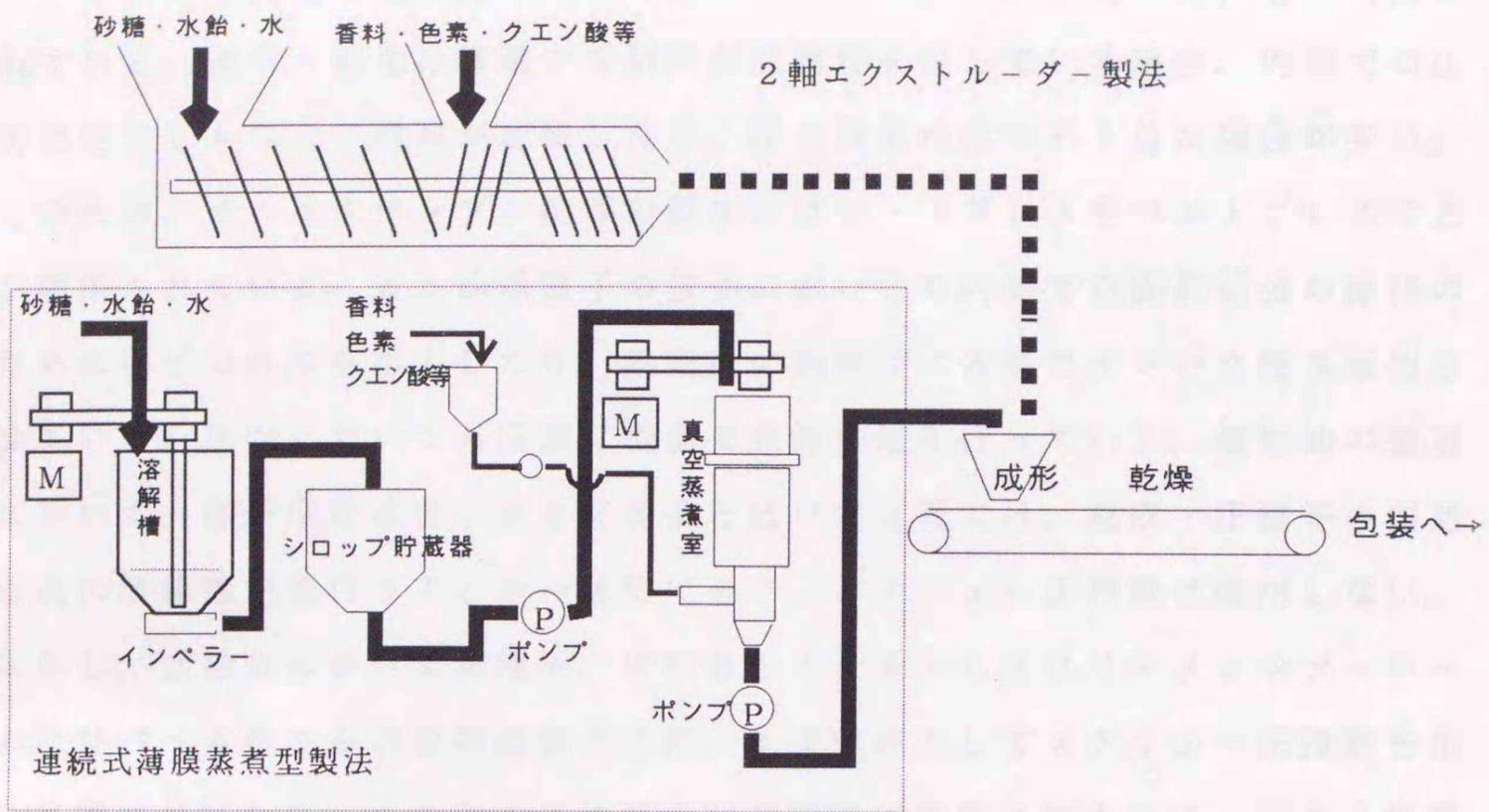


図1 キャンデーの製造ライン（従来法と2軸エクストルーダー製法）



写真1 エクストルーダーにより製造された食品

1<sup>3)</sup>に示す。中でも連続的で処理量も多く、条件によっては脱液効率も良好なスクリー圧搾機は油糧種子からの搾油や魚肉の脱水、果実の搾汁等に利用されている。通常1軸型の構造では材料が流動性を有している場合、内部での圧力発生にともなって材料が逆流したり、圧力発生自体が不十分な場合が多い。そのため、オカラやデンプン粕等の脱水にはローラプレスやベルトプレスなどが使用されている。また油糧種子の搾油においても内部での固形部分の保持のために種子の外皮を混入したり、処理前に熱処理する事でタンパク質を凝固させている。魚肉においても同様な理由で煮沸処理を行っている。植物油の製造において、種子中の油分が20%前後と低い大豆等では、脱皮・圧扁等の前処理後に溶媒抽出を行うことが一般的であり、スクリー圧搾機は使用しない。しかし、含油分の多い油糧種子、すなわちなたね・ヒマワリ・メンジツ・パーム及びパーム核からの植物油製造では、1次処理としてスクリー圧搾機を用いた搾油が行われ、その後の圧搾残査が溶媒抽出処理に施される。これら油糧種子からの植物油等の生産量は表2<sup>4)</sup>に示すとおり年間3,000万トンにのぼり、逆算すると約4,500万トンの原料がスクリー圧搾機によって処理されていることになる。搾油用のスクリー圧搾機はエキスペラーとも呼ばれ、専用機化している。この原型は1900年にV. D. Andersonによって開発され、その基本構造は米国の特許として多く紹介されている。現在では抜本的な装置開発は行われていないが、大量処理(時間処理量30トンレベルのものまで)と耐久性を重視して装置メーカーで改良が進んでいる。他に食品加工用に使用されている分野では魚肉すりみの脱水工程があげられる。この脱水工程は、すりみの製造工程において水溶性タンパク質を水晒しによって除去した後の工程である。材料の性状からあまり高い圧搾圧力がかけられないためにスクリー軸の比較的長いスクリー圧搾機を用いて低圧で長時間処理での圧搾分離を行っている。圧搾圧力があまり高くないことから圧搾部の耐圧性があまり必要ではないために清掃等の容易な多孔円筒式の圧搾部フィルターが使用されている。他にも果実の搾汁処理等に利用されている。

食品産業以外での利用も多く、紙パルプ、合成ゴムの脱水等に利用されている。一般的に処理量の多い材料が多く、装置の処理能力が大きいものが準備されている。

表1 圧搾装置の主要形式

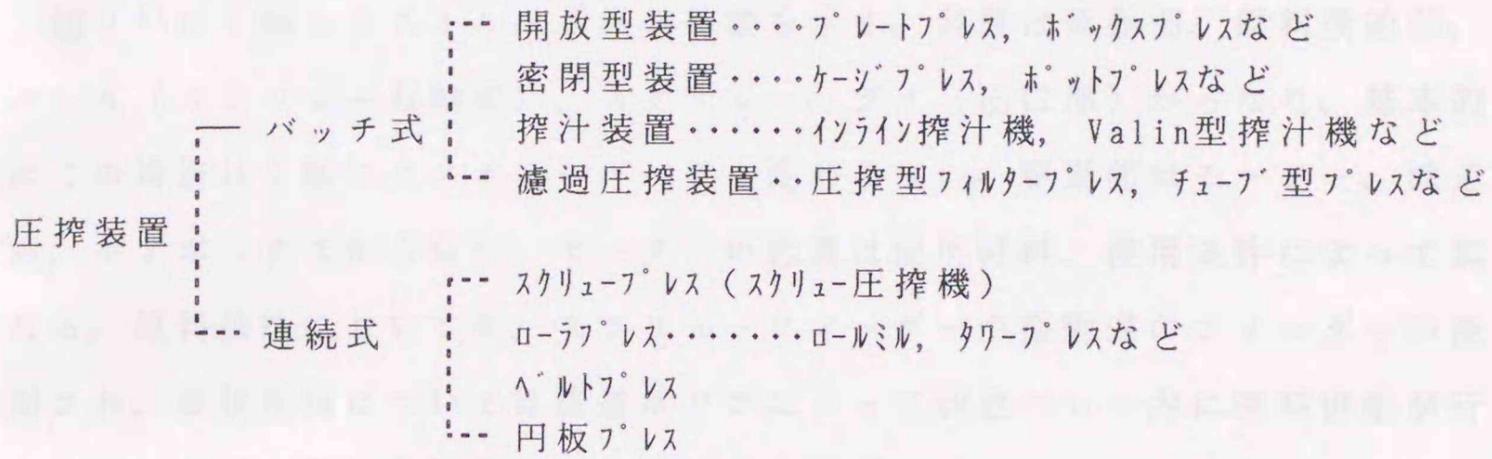


表2 世界の油糧種子生産量と食用油生産量 (1986年)

(単位: 万トン)

種子名	種子生産量*	食用油生産量
オリブ	—	157
ゴマ	170~220	60
ダイズ	9674	500
トウモロコシ	48000	27
ナタネ	1693	300
パーム	—	749
ヒマワリ	1908	695
メソジツ	3222	419
ラッカセイ	1363	315
合計	—	3222

\* 食用油以外に利用されるものを含む

## 1. 2 エクストルーダーの構造と既往の研究

### 1. 2. 1 装置について

本研究に使用したのはスクリューを2本有した2軸エクストルーダーであるが、装置の構造及びこの2軸化の要因も含めて述べていくことにする。

図2<sup>6)</sup>に1軸エクストルーダーの外観を示す。装置は駆動部、原料供給部、バレル(スクリュー収納部)、スクリュー、ダイ(出口部)からなり、基本的にこの構造は2軸エクストルーダーでも変わらない。駆動部はモーター、減速機、ギアボックスからなり、モーターの容量は使用材料、使用条件によって異なる。原料供給においては、スクリューフィーダーや振動式のフィーダーが使用され、液状原料については液送ポンプによって別途バレル内に原料供給が行われる。内部の運転条件設定の為に温度調節用の電熱ヒーターや蒸気あるいは油を循環させるジャケットをバレル内部に設置することがあり、内部の状況観察のための温度計や圧力計が設置されている。スクリュー及びバレルの形状は、原料の処理条件に合わせて図3<sup>6)</sup>に示すようにいくつかの種類がある。エクストルーダー内での様々な加工を行う際に材料が受ける圧縮、さらには内部での圧力増加に伴う材料の粉碎・混合が重要な作用となるため、図に示したバレル・スクリューのあり方も内部での原料の圧縮を如何に行うかを考慮した構造となる場合が多い。バレル内壁に溝を設ける場合があるが、これはエクストルーダー内部で発生した圧力に抗して、原料の搬送性を保持しあるいは高めるためである。1軸エクストルーダーの場合、材料経路は通常軸方向に対して解放されており、その材料の性状によっては材料の共回り、逆流等によって材料の搬送が行えない場合がある。バレル内壁の溝は、それに対する方策の1つであるが、基本的に1軸エクストルーダーにおける材料適用範囲が低水分系に限られるのは、この材料経路の解放にある。1軸エクストルーダーは用途別に図4<sup>7)</sup>に示すように分類できるが、いずれも低水分であり、高水分あるいは油分の多い材料においての使用は困難である。さらに1軸エクストルーダーの場合の材料搬送は、前述の理由により低水分材料が多い。そのため、内部での摩擦による自己発熱が問題となる場合がある。つまり、原料がスクリュー回転で前方へと押し進められる場合の材料とスクリュー表面、バレル内壁面との摩擦の発生、

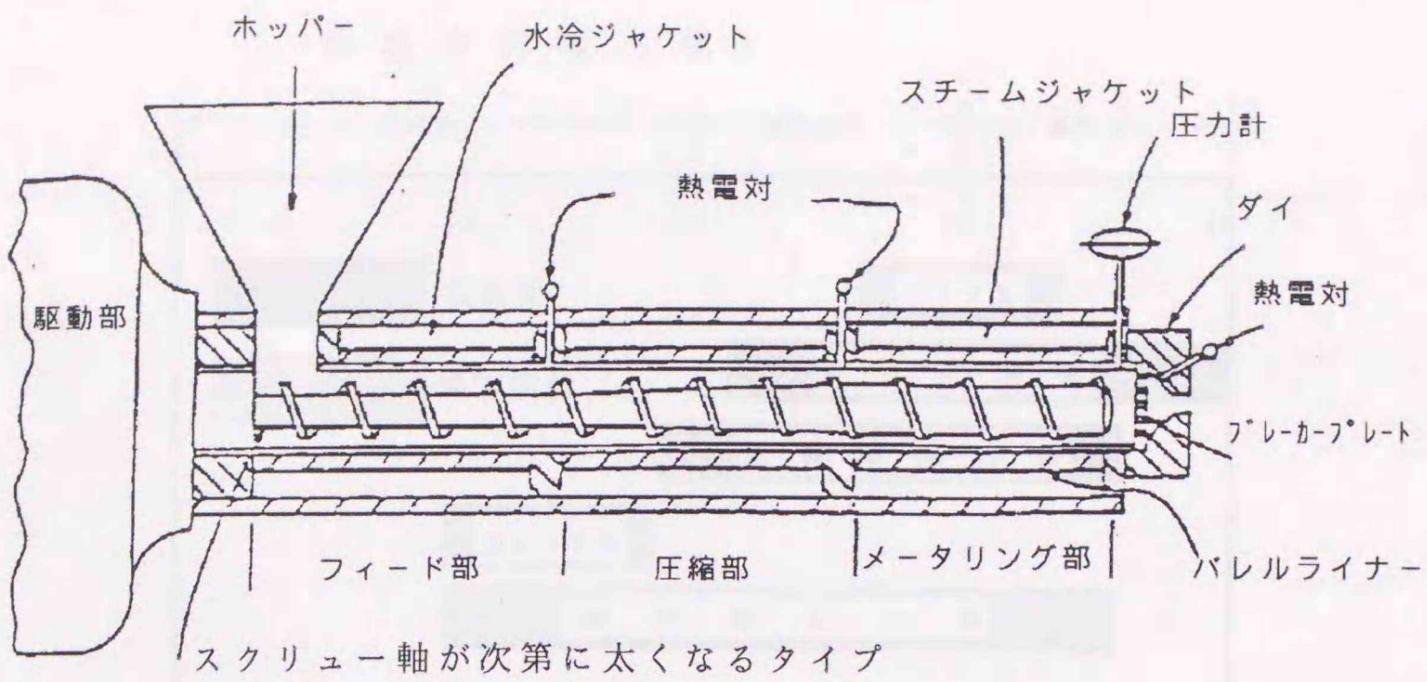


図2 1軸エクストルuder

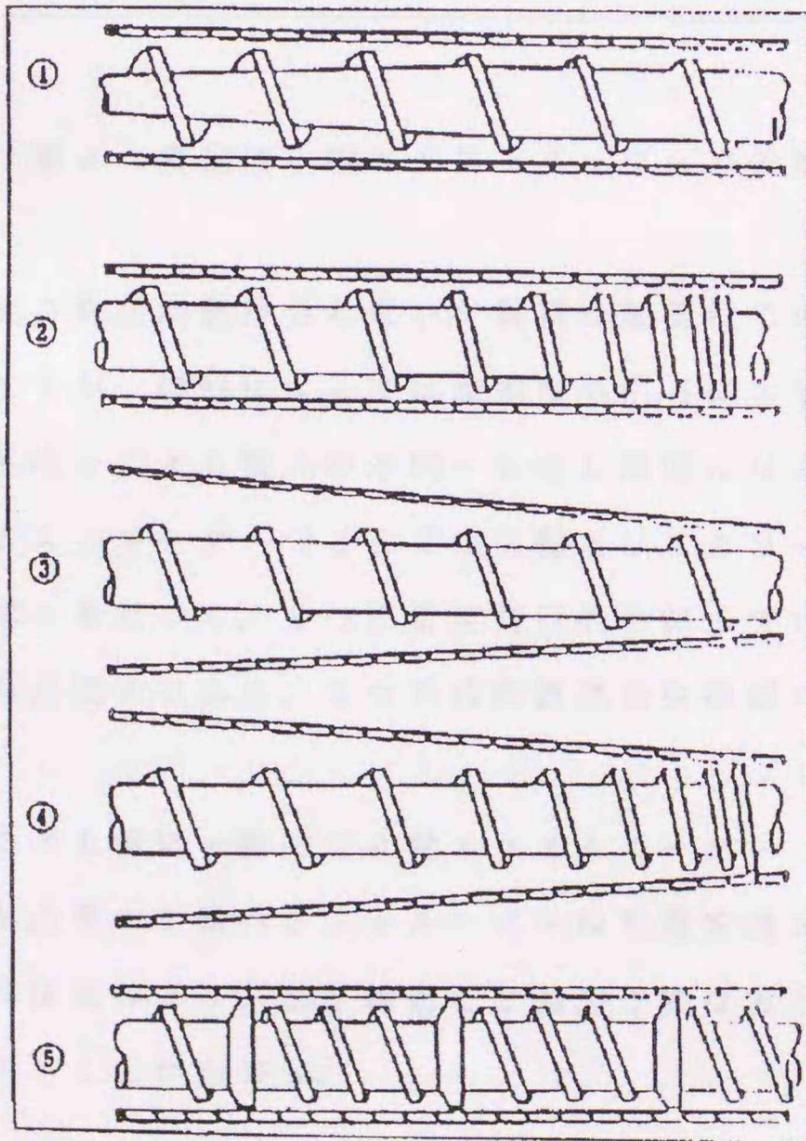


図3 1軸エクストルuder用のスクリー及びバレルの種類

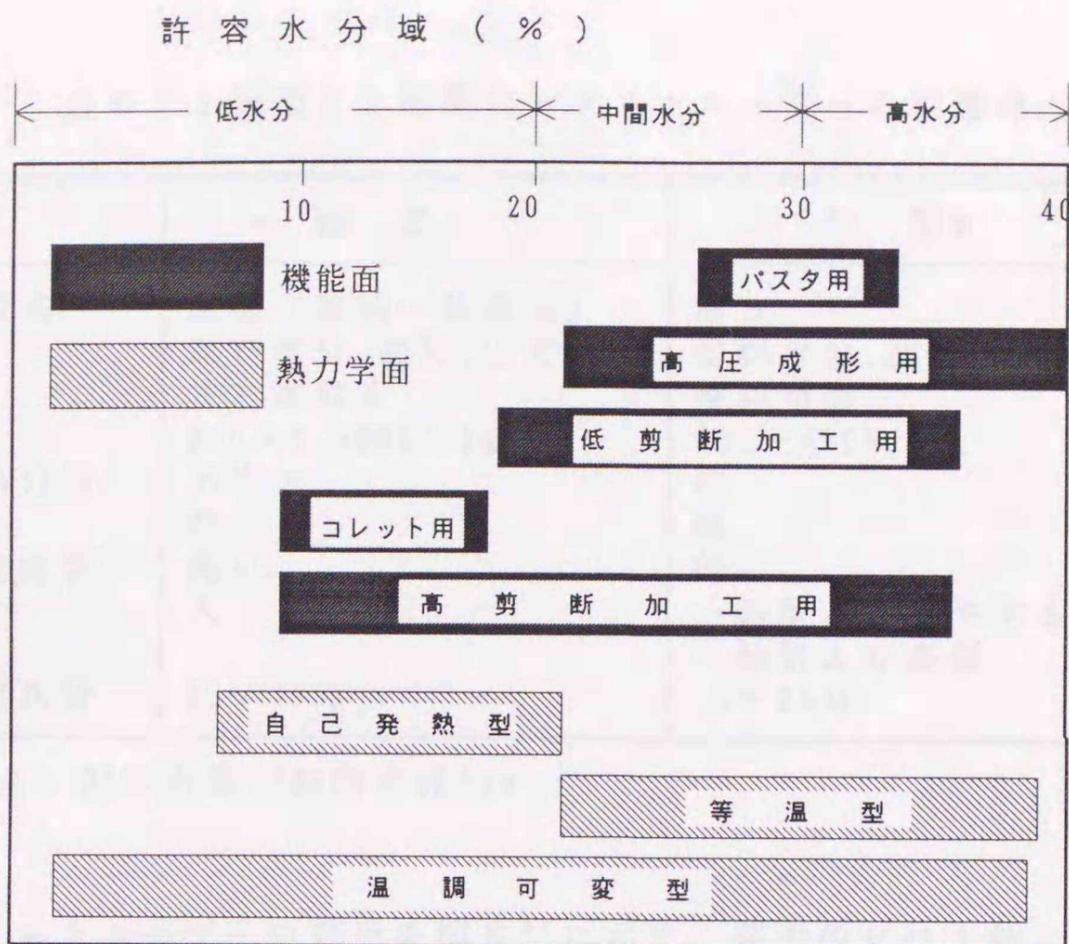


図4 食品用1軸エクストルーダーの分類

それに伴う摩擦熱の発生が避けられない。材料の加工にこの自己発熱を有効に利用する場合があるが、材料によっては過剰な熱供与による品質の劣化、さらには発熱場所の不均一による製品の不均一を生む原因になる。以上のような背景から、2軸エクストルーダー（ここでの2軸とはスクリューが噛み合った形式のもの）の開発にあたって、2つの重要な目的を持っている。1つは投入できる材料性状の範囲拡大であり、2つめは摩擦熱発生抑制による材料の品質劣化防止である。

2軸の構造を述べる前に一般的な2軸エクストルーダー（完全噛み合い同方向回転タイプ）と通常の1軸エクストルーダーの相違を表3<sup>8)</sup>に示す。表に示す相違点は材料の移送のあり方が1軸型と2軸型で異なるために、それによって生じるものと見ることが出来る。

表3 1軸型と2軸型のエクストルーダーの相違点

	一軸型	二軸型*
物質移動様式	摩擦(原料・装置間)	滑り
製造能力	原料水分、油分、圧力等に左右される	原料水分、油分のある範囲で調整が可能
動力消費	900~1,500kJ/kg	400~600kJ/kg
原料内の熱分布	不均一	均一
剪断力	強	弱
逆流の発生度合い	高い	低い
耐久性	大	一軸型よりやや劣る
購入費		一軸型より高価
原料の許容水分	10~30%	5~95%

\*完全噛み合い型同方向回転同半径タイプ

2軸エクストルーダーの構造を図5<sup>9)</sup>に示す。基本的には1軸エクストルーダーと構造は等しいが、駆動部においては動力分配機によって2本のスクリーパーへと動力が分配される。噛み合った位置でスクリーパーを設置するために、スクリーパー軸間の間隙は狭く、内部で発生する圧力による反作用でスクリーパーに大きな力がかかる。そのため、大きな力を受けとめるためにベアリング機構には十分な精度が必要となる。精度の問題はスクリーパー自体の加工にも要求される。スクリーパーの設置方式は表6<sup>10)</sup>に示すとおり、2本のスクリーパーの噛み合い度合いや回転方向によっていくつかのタイプに分類される。完全噛み合い同方向回転タイプの2軸エクストルーダーは通常表の分類番号の4と6の組み合わせによって構成されている。スクリーパーの主構成となる4は縦軸閉鎖系となり、1軸のように押し出し方向に沿ってスクリーパーチャンネルが解放していない。そのため材料の性状にあまり影響を受けずに、スクリーパー回転により各チャンネルに収容された材料が前方へと搬送される。その結果、搬送時に生じる摩擦も少なく、材料の熱劣化等も抑えられる。4のようなスクリーパーを設置することで、内部の圧力発生に伴う材料の逆流を抑えることが出来る。このために6のような搬送能力がまったくないスクリーパーを4の前方の位置に、混合・混練といった機能を得るために設置することも可能である。

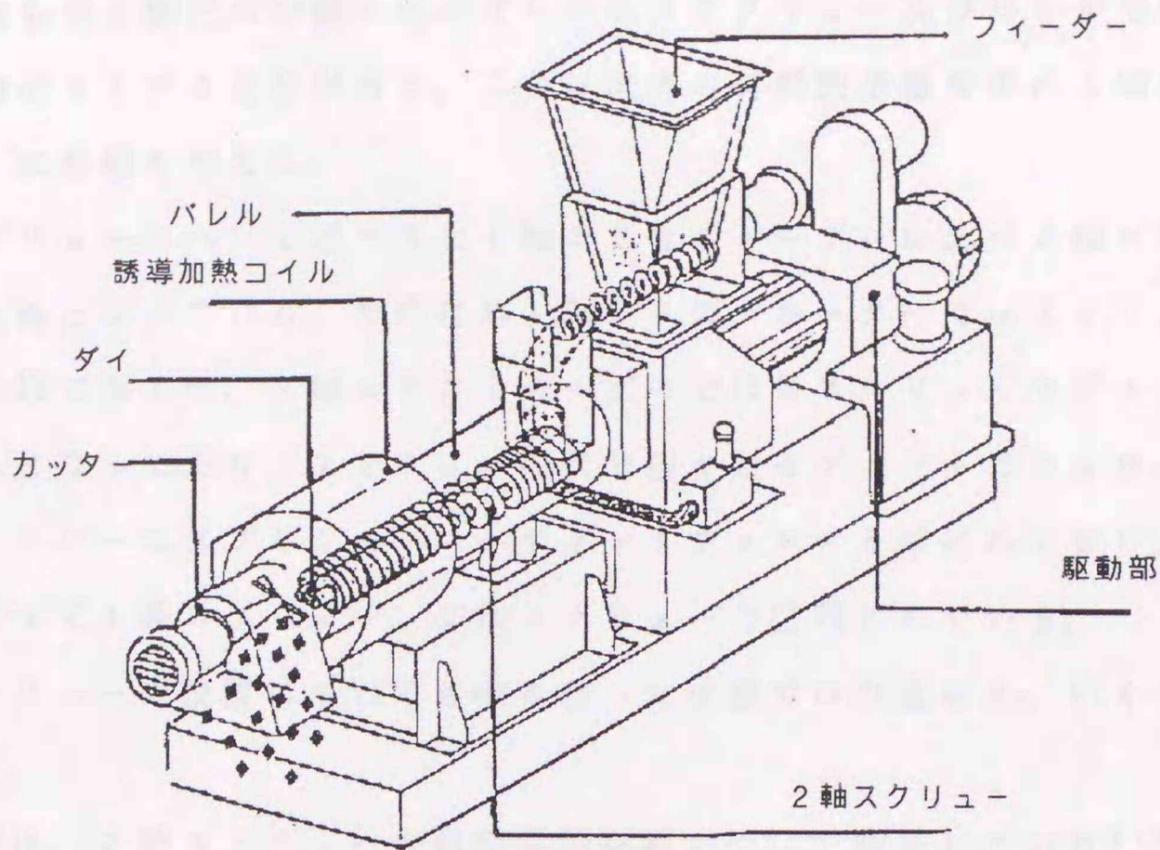


図5 2軸エクストルuder

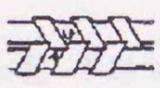
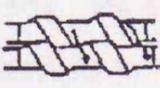
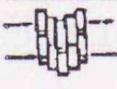
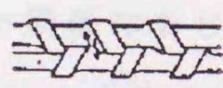
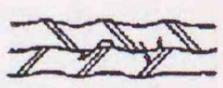
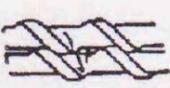
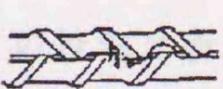
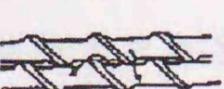
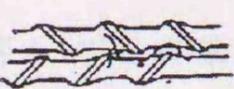
スクリューの噛み合い方式		内容	異方向回転	同方向回転
噛み合い	完全噛み合い	縦・横両軸閉鎖系	1 	2 理論上不可能
		縦軸開放系 横軸閉鎖系	3 理論上不可能	4 
		縦・横両軸開放系	5 理論上可能 装置化実現無	6  混練用ディスクエレメント
	部分噛み合い	縦軸開放系 横軸閉鎖系	7 	8 理論上不可能
		縦・横両軸開放系	9a 	10a 
			9b 	10b 
非噛み合い	非噛み合い 縦・横両軸開放系	11 	12 	

図6 2軸スクリューの設置様式

これらの2軸化の特徴を生かすためにはスクリー及びバレルでの間隙( $\delta$ )を極力小さくする必要がある。これは後述の材料搬送量を求める場合の $Q_L$ (漏洩流)に影響を与える。

スクリーについて述べると1軸エクストルーダーに比べて様々なタイプが設置可能となっている。そのため1軸エクストルーダーではスクリー一体式が一般的であるが、2軸エクストルーダーでは各スクリーセグメントの組み上げ式となっており、スクリー形状で個々のセグメントはフォワードスクリー、リバーススクリー、ニーディングディスクと呼ばれており、さらに条数によって1条スクリー、2条スクリーと区別されている。

スクリーの設置については噛み合った状態での設置ゆえ、いくつかの制限がある。

B00Yは、2軸スクリーの幾何学的解析について報告しており<sup>11)</sup>、基礎的な2軸スクリーの報告としては希少なものであり、現在の2軸エクストルーダーの構造においても参考にされている。このなかでB00Yはスクリーの条数やスクリーチップの角度が設置されるスクリー軸間隙とスクリー半径によって決定させることを示している。

つまり、(1)式で表されるように条数( $N$ )とチップ角( $\alpha$ )は軸間比( $P_c$ )との関係によって決定される。これを図に示したのが、図7である。

$$P_c = 2 \cos(\pi / 2N - \alpha / 2) \quad \text{—————} \quad (1)$$

ここで、チップ角( $\alpha$ )はスクリー断面における円弧の中心になす角度、軸間比( $P_c$ )はスクリー半径( $R_s$ )と2本のスクリー間の距離( $C_1$ )の比、 $C_1 / R_s$ 。

エクストルーダーの構造としては他にダイ(あるいはダイス)の部分が製品形状の決定に大きく影響している。ダイの役割は製品の形状決定であるが、もう1つ内部の発生圧力の調節が挙げられる。つまり内部での材料の混合・加圧下での加工のための内部圧力を材料を押しとどめることで発生させるのである。したがってダイの開口面積等設定にあたっては内部での材料の挙動を知ること

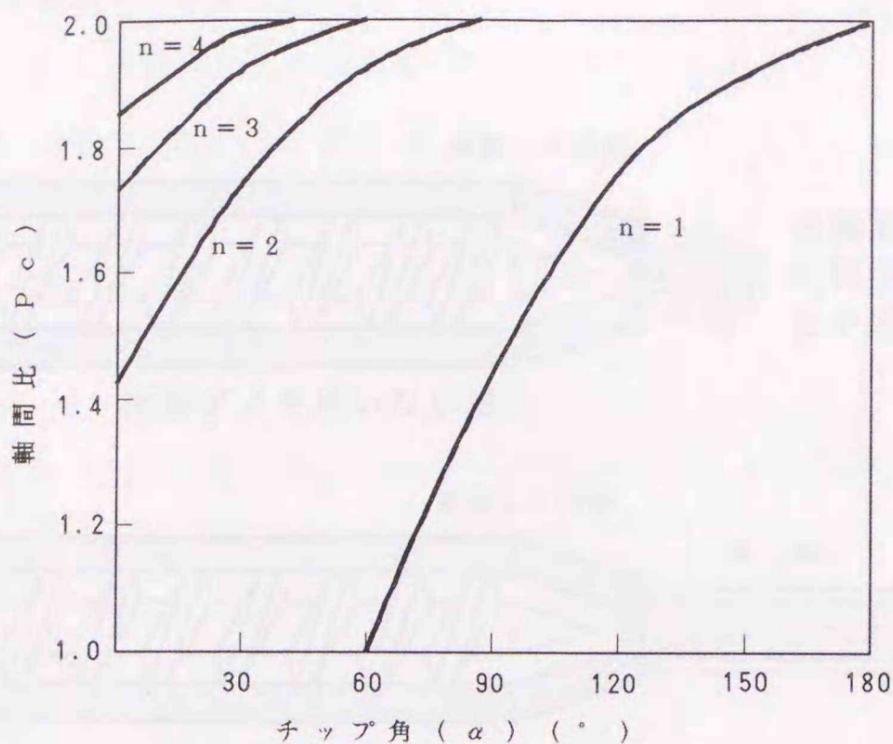


図7 2軸スクリューの軸間比、条数及びチップ角の関係

が重要となる。低水分系でのデンプン材料においては、材料挙動を把握しつつダイ部での圧力調整等を行っている。デンプン材料を膨化成形する場合のダイの形状であるが、ダイでの材料の移動速度の均一化、圧力調整を行うための工夫を行っている。2軸エクストルーダーでは前述したように高水分系材料での加工が可能となったが、この場合のダイの役割は材料の成形という観点で冷却機能が要求されている。つまり図8に示すように2軸エクストルーダー内部の高温・高圧条件では材料中の水分は内部の蒸気圧上昇によって液体で挙動しているが、そのまま大気圧下に曝されると内部の水分は蒸気化し製品の構造を破壊しかねない。そこでSair, Quassによって考案された<sup>12)</sup>のが冷却ダイである。しかし、この冷却ダイは特許は出願されているが、装置的には完成されたものではなく、本研究では高水分タンパク素材の加工にあたって冷却ダイについての考察及び装置開発も行った。この理由としては2軸エクストルーダーが食品加工に導入されても、高水分系での食品加工はあまり企業によって行われず、特に技術的に先行していた欧米においてはそれらの素材におけるニーズが余りなかったことが挙げられる。さらに本研究の1つの目的でもある高水分のタンパク素材の2軸エクストルーダー内での組織化の成因が明かでなかったことも大きな原因である。

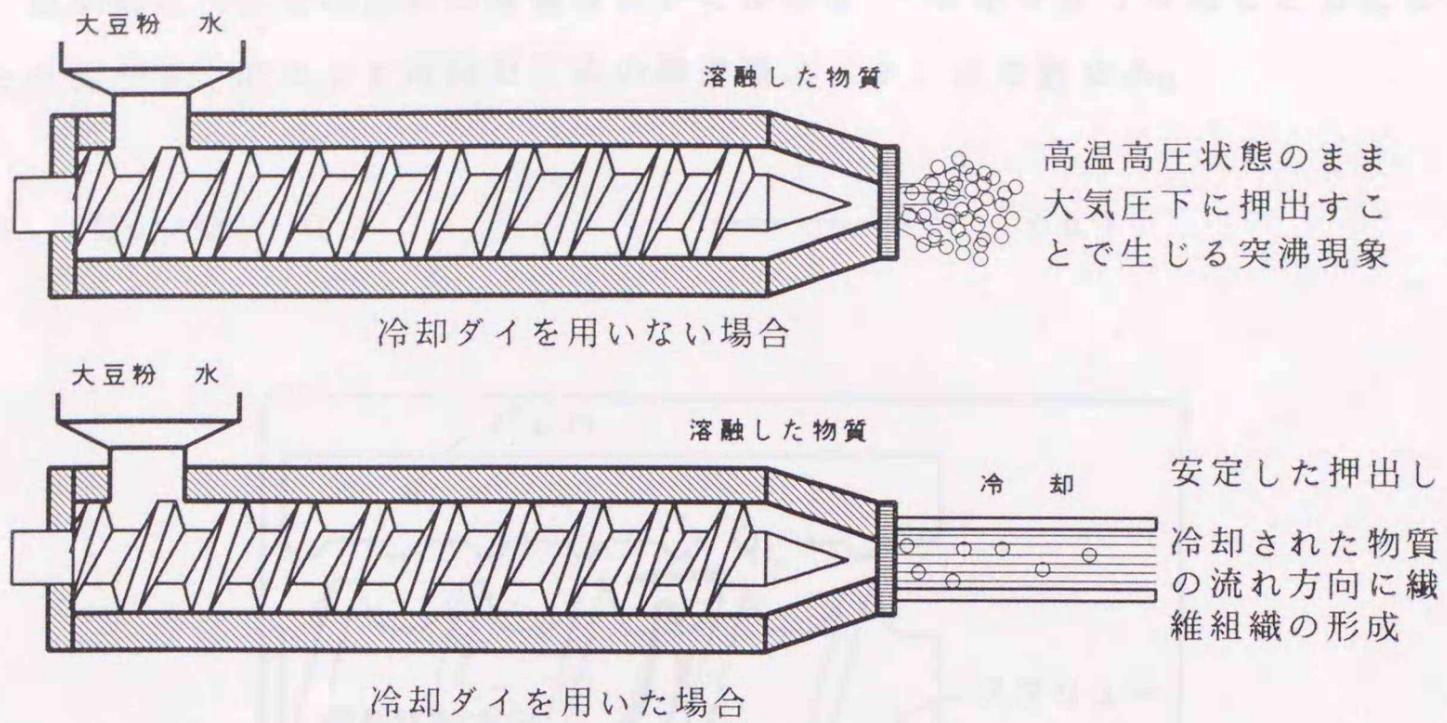


図8 冷却ダイの考え方

2軸エクストルーダーでは、その噛み合ったスクリューにより1軸エクストルーダー以上に機能が付与しやすいし、内部での摩擦による発熱等も少ないために加工条件等を制御し易い。しかし、スクリューの加工精度や設置においては制限があることも事実である。

様々な食品加工がエクストルーダーで行われているが、その応用について述べる前に、内部での材料の加工について考慮する上で重要な内部での材料の挙動について述べる。

1. 2. 2 内部現象及び食品加工について

基本的に内部での原料の搬送においては図9<sup>13)</sup>に示すような形でとらえることが出来る。図に示す原料の正味の搬送量は(2)式で表せる。

$$Q_N = Q_D - Q_P - Q_L \quad (2)$$

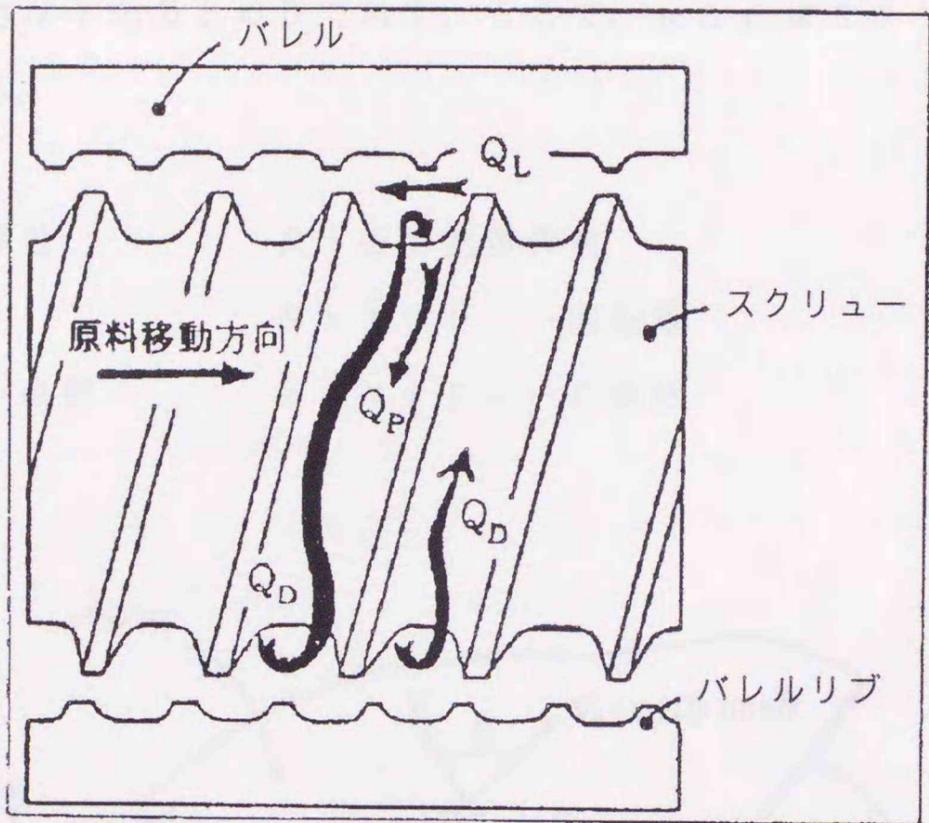


図9 スクリューチャンネル内での材料の移動様式

ここで、 $Q_N$ は正味の搬送量、 $Q_D$ は推進流 (drag flow)、 $Q_P$ は背圧流 (pressure flow)、 $Q_L$ は漏洩流 (leakage flow)。

1軸エクストルuderにおいては、内部の流体をニュートン流体と想定することで、これらの値は図10<sup>14)</sup>のような微小空間を想定してHaper<sup>15)</sup>や森<sup>16)</sup>らによって次式のように表されている。

$$Q_D = \alpha N \quad \alpha = \left( \frac{\pi DH}{2} \right) \left( 1 - \frac{\delta}{H} \right) mW \cos \theta \quad \text{--- (3)}$$

$$Q_P = \frac{\beta}{\mu} \frac{dP}{dz} \quad \beta = \frac{mWH^3}{12} \quad \text{--- (4)}$$

$$Q_L = -\frac{\gamma}{\mu} \frac{dP}{dz} \quad \gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3}{12m e c \cos \theta} \quad \text{--- (5)}$$

ただし、記号は下記のとおりである。ここで、 $\alpha$ と $\beta$ はスクリー固有の係数となっている。

$\alpha$  : 牽引流量係数

$\beta$  : 圧力流量係数

$P$  : 内部圧力

$N$  : スクリュー回転数

$D$  : スクリュー直径

$m$  : スクリューの溝数

$\mu$  : 理想粘度

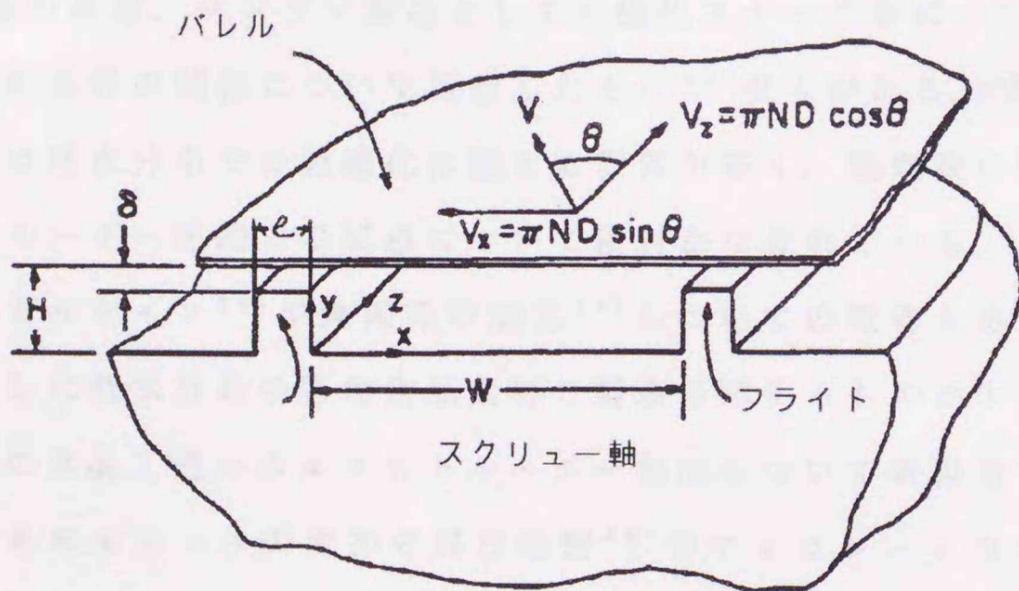


図 1 0 微小空間での材料挙動解析

さらに非ニュートン流体においても高粘度流体に対するビンガムの式等において解析がなされ、一部デンプン加工においてはこれらの流動解析の式の適用によって解析を行っている例もある。しかし、食品加工の場合、内部での正確

な圧力測定が困難なことや加工温度によって粘度が著しく変化することなどから押出しに正確に即応した流動解析は行われていない。特にタンパク質加工、中でも高水分領域での加工における流動解析は皆無に等しい。本研究においても、この流動解析については試みたが、十分な結果が得られず内部の材料挙動による組織化形成の解析に報告にとどめた。特に複合多成分となる食品における粘度を正確に測定することが出来ないことも流動解析が行えない理由と言える。

食品加工についてはデンプンを主材料とした加工に関する報告が多くみられる。B. Launayら<sup>17)</sup>やS. L. Fletcherら<sup>18)</sup>によるデンプン材料での処理実験において粘度等の変化の測定を含めて前述の内部での挙動を検討している例があるが、全般には製品の化学的変化及び物性の変化に関する報告が多い。1軸エクストルーダーにおいては特にデンプンの加工に関するものが多い。デンプンに関してはエクストルーダー処理によるデンプンの $\alpha$ 化<sup>19)</sup>、あるいはDE値の変化と運転条件(材料水分、処理温度、スクリュウ形状等)<sup>20)</sup>、小麦粉の物性改質<sup>21)</sup>等の検討、デンプン製品としての膨化スナック等についてはその膨化度合いと運転条件の関係について報告したもの<sup>22)</sup>などがある。さらにタンパク質については低水分系での組織化に関する報告が多く、処理後の物性の変化等とエクストルーダー処理との関連について検討がなされている。乳タンパクの主成分となるカゼイン<sup>23)</sup>や魚肉等の加工<sup>24)</sup>についての報告もあるが、デンプン等を添加した低水分系の膨化食品素材の製造に関するものが中心である。さらには従来の食品工程へのエクストルーダー利用について新製造プロセスの開発に関するものもビールの麦芽の煤煎処理<sup>25)</sup>やチョコレートのコンチング処理(原料の混合・混練処理:チョコレート製造の場合、良好な物性確保のための重要な処理でバッチ式の混練機では数時間を要する工程)<sup>26)</sup>等が報告されている。今後、高水分系のタンパク素材(肉や魚)の代替、あるいは機能的に優れた植物タンパク由来の高水分素材の製造にあたって2軸エクストルーダー利用の可能性が大きいにも関わらず、国内で魚肉の組織化について若干の報告<sup>27, 28)</sup>があるのみである。特にその組織化物の成因についての考察は皆無であり、今後の2軸エクストルーダーの利用拡大においては、本研究の目的とする高水分タンパク素材の組織化の成因解明、さらには2軸エクストルーダーの応用技

術としての射出成形技術の開発は有意義なものであると考える。第2章にて2軸エクストルーダーを用いた高水分組織化物の繊維形成のメカニズム等の検討結果を述べる。

（以下は非常に薄い文字で印刷された文章がほとんど読み取れない）

（以下は非常に薄い文字で印刷された文章がほとんど読み取れない）

（以下は非常に薄い文字で印刷された文章がほとんど読み取れない）



図1-1 2軸エクストルーダーの構造図

### 1. 3 スクリュー圧搾機の構造と既往の研究

#### 1. 3. 1 装置について

スクリュー圧搾機（スクリュープレス）はスクリュー系加工機の中でも最も一般的なものであり、スクリューのピッチを狭くしたり出口部分の開口面積を減少させて、搬送される材料の圧縮を行い、発生する内部圧力で材料中の液状分を系外に分離するものである。通常は1軸であるが、この場合1. 2で述べたようにエクストルuderと同様に材料性状に制約が多い。本研究では2軸エクストルuderの実験を通して、圧搾工程への応用についての可能性を検討し、2軸圧搾機の開発及びその装置の能力を油糧種子からの搾油及びイワシの搾汁実験を行った。

ここでは既往の圧搾機について簡単に紹介する。

図1 1<sup>29)</sup>に油糧種子の搾油処理に用いられる1軸圧搾機を示す。油糧種子の場合、材料形状からスクリュー回転による材料の搬送にともなう内部での摩擦や圧縮によって生じる軸トルクが大きく、特に固形物排出口の部分での負荷が最大となるために駆動部を固形物排出口側に設置することが多い。

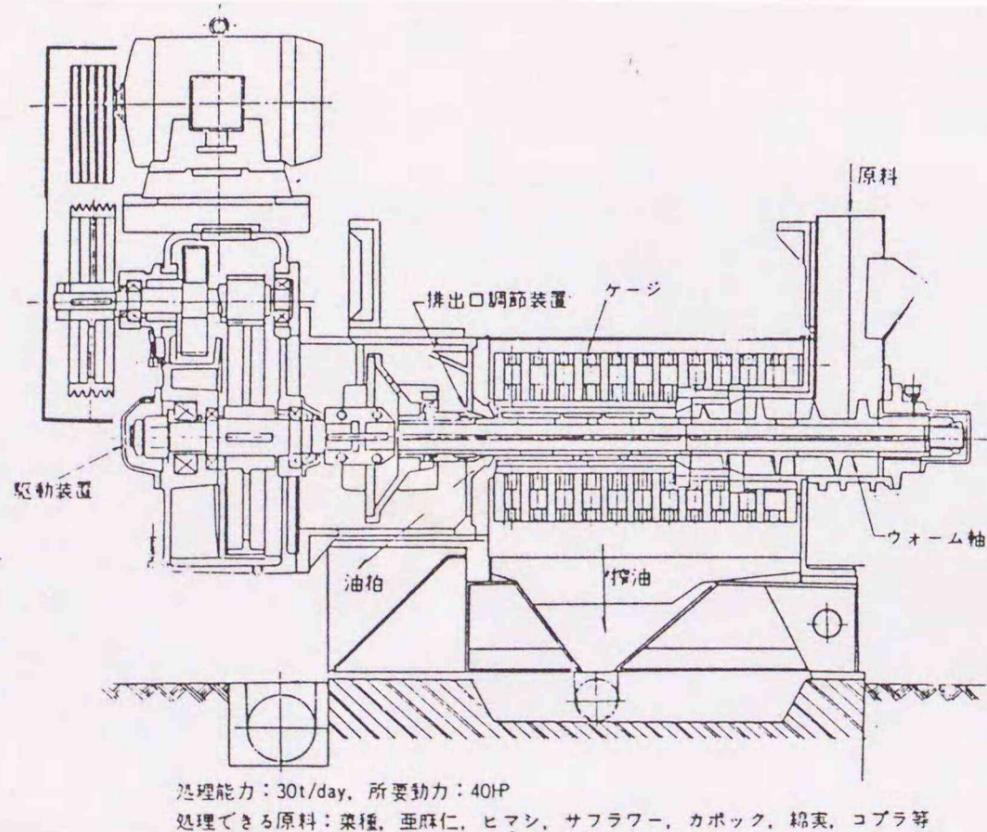


図 1 1 搾油用 1 軸圧搾機

魚肉や果汁の圧搾に使用する場合はエクストルーダーと同様に供給部側に駆動部を設置するのが通常である。駆動部の位置に若干の相違があるが、基本構造はエクストルーダーとは余り変わらない。しかし、バレル部分が圧搾分離用に間隙を有していること、固形排出口が内部での圧力調節や分離状態の調整の重要な部位になることなどからエクストルーダーとは異なる。

圧搾分離用のバレルについて、多孔円筒バレルは内部の圧力や材料搬送に伴う摩耗に対する耐久性をあまり要さない魚肉の脱水用等に用いられる。一方、油糧種子の搾油では金属の長方形を利用して間隙を設定する写真2に示すようなバレル構成が一般的である。このバレル構成は間隙幅が内部から外部への拡大しているために液状分とともに排出される固形分による詰まりを防ぐと共に摩耗によるバレル内壁の交換が各部品毎に行える利点を持つ。しかし、この構成は、長方形の設置・離脱に際して時間及び労力を要すること、間隙の変更が簡単に行えないこと、バレルの長さの変更が出来ないこと等の問題点を持つ。また2軸化によって圧搾機能の向上を図る際にこの間隙設定法では、断面形状がメガネ状となり設置法等がより複雑になるために、この間隙の設置法についても検討を加えた。

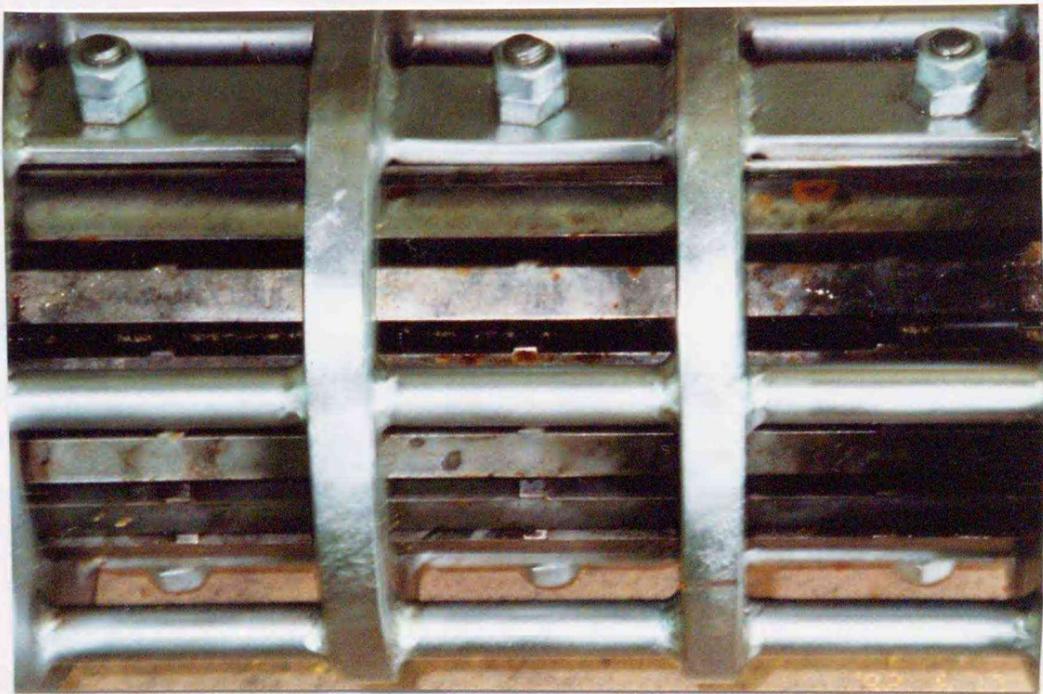
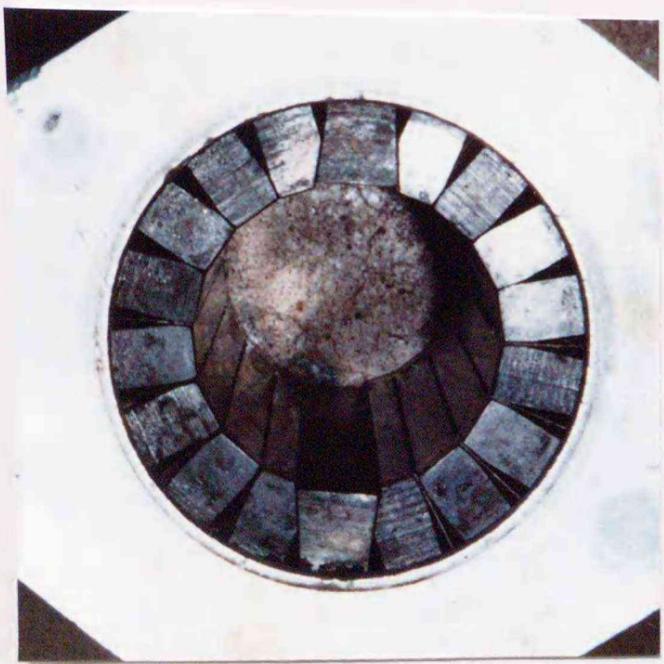


写真2 横スリット式の圧搾バレルの形状

圧搾機の装置についての研究例は最近ではほとんど報告されていない。圧搾機による加工法の条件等についての研究は1. 3. 2で述べるように米国を中心としてなされている。装置自体についての考察が少ないのは圧搾機、特に搾油機においては、装置が装置メーカーによって常に開発されていること、さらにそれらの開発自体約20年前までにほとんど終了していることに理由があると思われる。したがって圧搾機自体の圧搾工程自体の効率向上等を図るためには装置自体を根本的に変更することが必要であり、2軸化はその一例と考える。

2軸化の試みも特許においては紹介されている<sup>30-32)</sup>が、それらの多くが柔軟素材の混合や移送のための不完全噛み合いタイプであり、2軸エクストルーダーの持つ利点を生かしたものとは言えない。それは現実として高効率での固液分離を実現するために2軸圧搾機(搾油機)が現在まで実用的には利用されていない事実によって自明である。

### 1. 3. 2 内部現象及び食品加工について

内部での材料挙動であるが、基本的には内部での材料の搬送については1。  
2. 2で述べたエクストルーダー内の搬送式が当てはまる。しかし、圧搾分離によって材料中の液状分が圧縮によって系外に排出される現象については(6)式のテルツァーギの圧密方程式を利用した圧搾分離現象の解析を行わなければならない。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 P^2}{\partial z^2} \quad (6)$$

ここで、 $C_v$ は圧密係数、 $P$ は圧搾にかかる圧力、 $t$ は圧密経過時間、 $z$ が圧搾対象物の位置を表す変数。

圧搾による固液分離を考える場合、高水分材料ではろ過現象が圧搾現象の前過程として付随し、バッチ式の圧搾機の場合、ろ過現象で生じたろ過ケーキ層が圧搾現象時の要素として考慮される。しかし、本研究でのスクリー圧搾においてはその搬送過程でろ過ケーキ層は排除されると同時に対象となる材料もろ過分離が期待できないために圧搾分離のみを考慮している。スクリー圧搾の場合、図12<sup>33)</sup>に示すように連続式の変圧変速圧搾となり、解析は複雑であるが、微小空間に着目して解析することが可能である。これらの解析においては白戸ら<sup>34)</sup>によって表されている。この解析の対象は無機質のスラリーであり、食品材料や油糧種子の場合、内部の圧力測定や材料成分の不均一さから正確な解析は困難であり、報告例は皆無である。本研究においても装置開発及び材料にあった装置の改良、操作法の改善に主を置き、材料挙動の解析は行わなかった。

スクリー圧搾機による食品関係の固液分離に関連する報告は油糧種子からの搾油について多くみられる。油糧種子の場合は圧搾工程が図13<sup>35)</sup>に示したように植物油製造工程中で位置づけられている。研究例は搾油時の圧搾機の運転条件と搾油効率等あるいは抽出工程への影響、固形物残渣の品質への影響について検討しているものが多く、内部の現象や理論的な搾油現象の解明はM. S. Singhら<sup>36)</sup>、G. C. Mremaら<sup>37)</sup>によって報告されているのみである。今回対象としているヒマワリ種子についてはW. Steinら<sup>38)</sup>やJ. P. Gallowayら<sup>39)</sup>によって紹

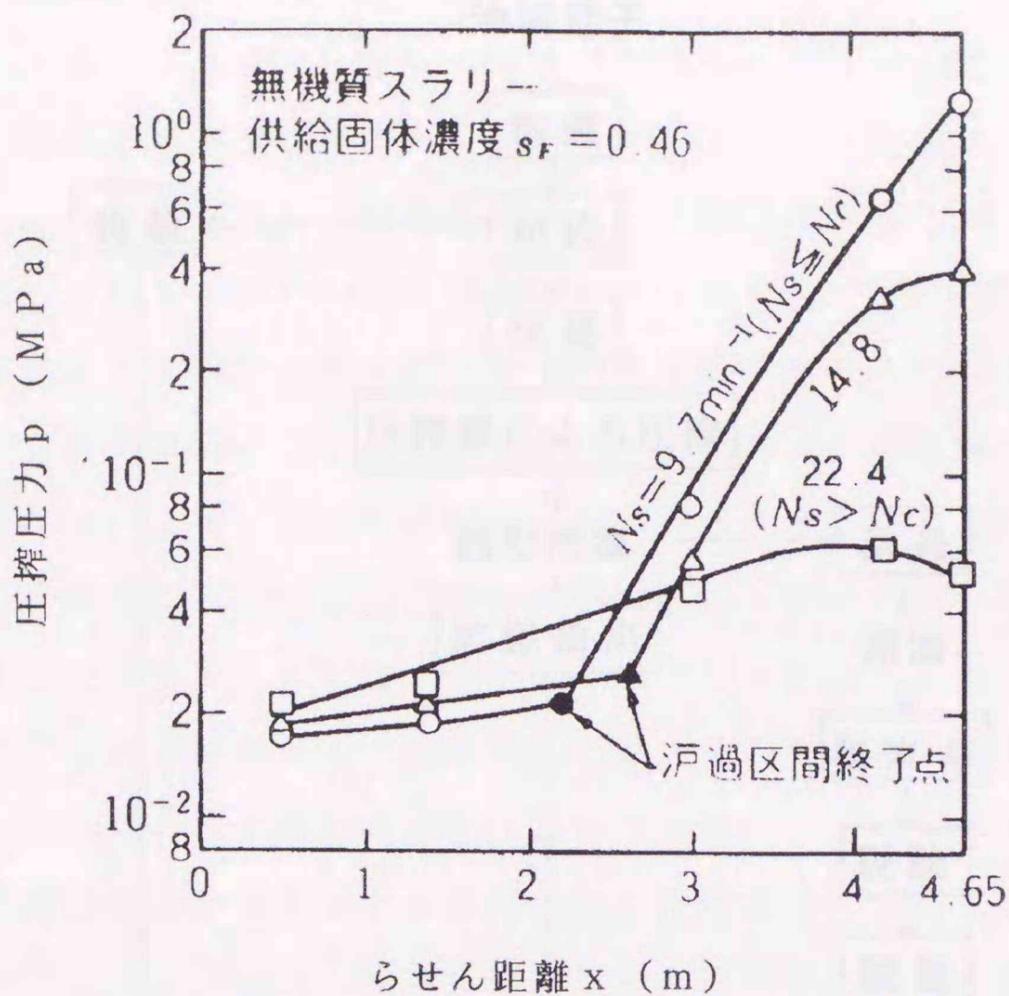


図 1 2 スクリュー圧搾機内での変圧変速圧搾状況

介されているが、いずれも 1 軸圧搾機によるものである。これらの報告では外皮の混在の必要性を考察しており、外皮を除くこと（脱皮あるいは脱殻）で製油工程のコスト低下あるいは固形残渣の品質向上等の可能性はあっても現有の装置では困難であることが指摘されている。すなわち 2 軸エクストルダの導入に際しての利点となった内部での材料搬送様式の変更による「材料性状の範囲拡大」および「摩擦熱発生の抑制による材料の品質劣化防止」は圧搾機への現在の要望にも適合していると言える。すでにナタネ種子からの搾油においても脱皮処理の有効性がカナダを中心に論議され、それを実際に製油工程に結びつけるために何らかの工程改良を模索している。本研究での 2 軸圧搾機の開発及び可能性の検討は、製油業界を始めとして連続的で効率的な固液分離技術を待望している食品業界への貢献が期待できると考えられる。

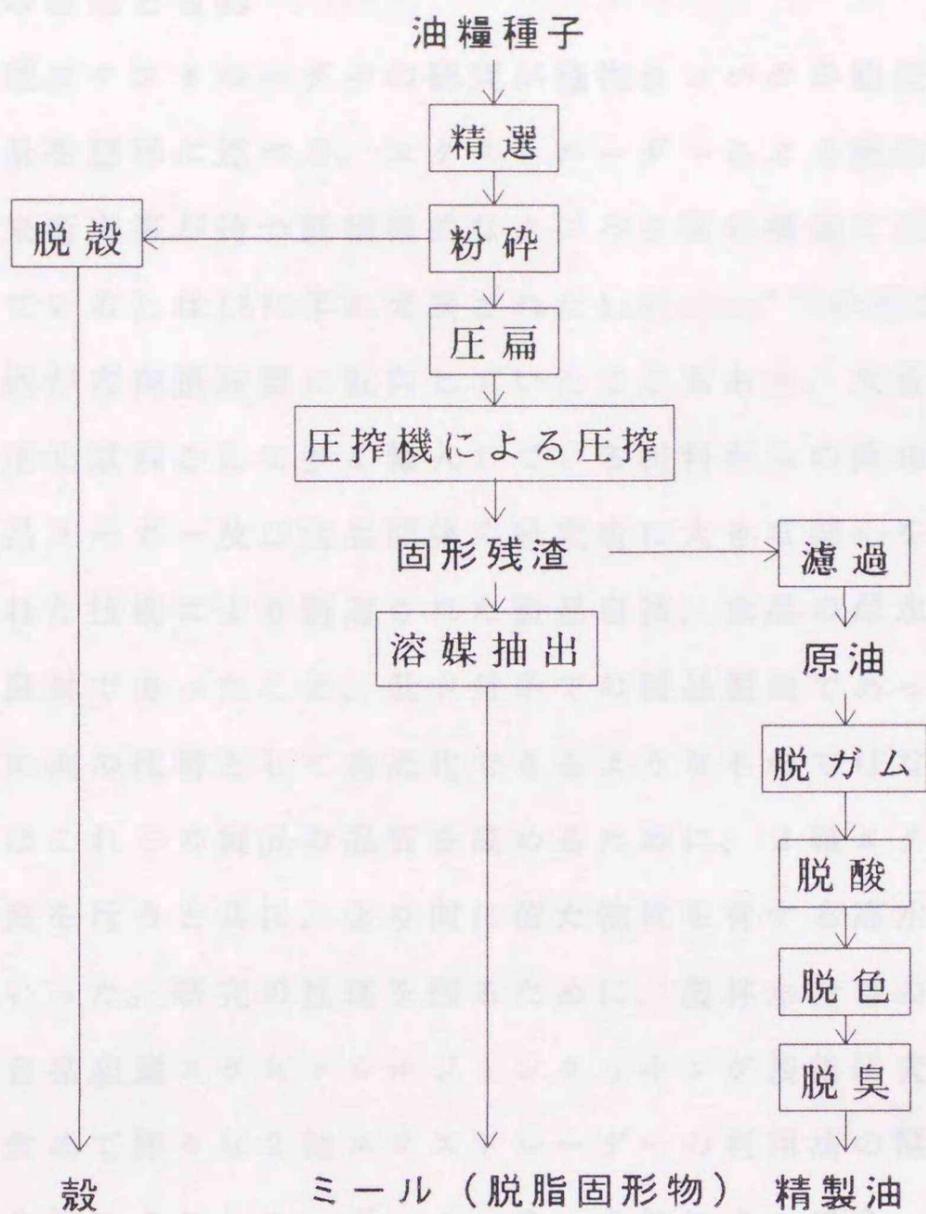


図 1 3 油糧種子からの食用油製造工程

#### 1. 4 研究の背景と目的

本論文の2軸エクストルーダーの研究が植物タンパクの組織化を中心に行われたことの背景を簡単に述べる。エクストルーダーによる植物タンパクの組織化(これは元来畜肉等が持つ筋繊維的なタンパク質の構造に近い繊維状の構造形成を意味している)は1970年に発表されたAtkinson<sup>40)</sup>の特許で紹介された。我国では食生活が畜肉摂取型に転向していたこともあり、大豆等比較的安価でなおかつ、食用油原料として多く輸入している材料からの肉様素材製造の可能性は日本の食品メーカー及び食品関係の研究者に大きな関心を呼んだ。しかし、欧米で開発された技術により製造された製品自体、食品の保水性や食感を良好にする品質改良材であったこと、低水分系での製品製造であったことなどの理由から、すぐに肉の代替として商品化できるようなものではなかった。そこで、日本においてはこれらの製品の品質を高めるために、2軸エクストルーダー自体の開発や改良を行うと共に、より肉に似た物性を有する高水分の組織化物の製造を試みていった。研究の推進を図るために、農林水産省の補助事業として昭和59年に食品産業エクストルーダージョイントリッキング技術研究組合が設立され、上記の問題を含めて様々な2軸エクストルーダーの利用法の開発が食品メーカー21社及び2軸エクストルーダーメーカー5社によって3年間が行われた。この研究組合での研究活動と本研究は非常に密接な関係にあり、情報交換や共同研究等を実施して研究を行ってきた。特に高水分系でのタンパク質の組織化においてはほとんど欧米での研究例がなかった。そのため、安定的な運転を行うための装置の開発及び改良、組織化に関する内部の現象及び繊維性を有する組織化物の形成機構の解明などが大きな課題であった。

本研究の目的は、これらの問題を明らかにして日本における肉様のタンパク源を植物タンパク等に由来する材料から製造するための基礎情報を得る事にある。また利用法の少ない、あるいは単独の使用では食品素材として価値の低い魚肉からの肉様の組織化物による新たな利用法の開発も目的の1つとした。さらに本研究の後半部の2軸圧搾機に関する研究においても、その目的の一部は我国の肉様のタンパク源の確保である。2軸エクストルーダーを用いた組織化物製造に関する一連の研究の中で見いだされた2軸エクストルーダーが有する優れた混合・粉碎効果、移送・圧縮効果を利用する事で、効率的な圧搾装置の

開発の可能性が示唆された。油糧種子からの原油の圧搾分離に際して、搾油効率の向上及び原油・圧搾残渣（富植物タンパク素材）の品質向上等を目的とした2軸圧搾機の開発を行った。一つの具体的な目的としては、ヒマワリなどの種子を脱殻して処理する事で圧搾残渣を大豆と同様な食品素材として利用する事が可能となる搾油工程を実現する事である。通常の1軸圧搾機ではヒマワリ種子等は殻と一緒に搾油処理するために、圧搾残渣はタンパク質を多く含んでいるにも関わらず飼料等にしか利用されていない。現在油糧種子の中で植物タンパク原料として利用されているのは大豆のみであるが、その他の油糧種子からのタンパク源確保が今後課題となる可能性も多く、そのための1つな有効な処理方法として殻を除去した処理、タンパク質の劣化を抑える処理が望まれることは自明であり、本研究はその1つの基礎資料を得ることで意味があると考ええる。

さらに連続的な固液分離技術の確立は、食品産業での主要な工程である脱水・脱液工程への利用や現在既に深刻な問題となっている廃棄物処理への利用も考えられ、それらの技術開発の一助となることも目的と考えられる。

## 2章 2軸エクストルーダーによる高水分タンパク組織化物の開発

### 2.1 緒言

2軸エクストルーダーを用いた食品加工で先進的な欧米においては、1章で述べたように低水分材料、特にデンプン材料を中心に研究が行われ、利用されてきた。その理由として、従来の1軸エクストルーダーによる加工は材料性状による限定が多いため、低水分系での加工が主となるデンプンの加工、スナック菓子、麺類等のデンプン主成分の製品製造が主体であったことが挙げられる。さらにタンパク質加工が乳製品以外ではあまり食品加工として一般的でないこともその理由であると考えられる。畜肉や魚肉を主たるタンパク源として利用する食生活ではタンパクの加工は家庭での調理が中心となり、食品加工とはなりにくい。しかし、日本をはじめ、アジア圏では植物タンパクの利用が比較的多く、大豆を原料としてユバや豆腐や魚肉からのかまぼこやはんぺんなどといった加工食品のように、物性等を大きく転換した食品加工が古くから行われており、タンパク素材が食品加工として馴染み深いものがある。エクストルーダー処理によって植物タンパクの物性を変化させることが報告された後も、欧米でのタンパク加工はあまり進んでないが、日本において盛んに研究が行われた背景として上述の状況が考えられる。

さらに日本では畜肉の生産量が少ないことから、現在の肉様素材への嗜好の要求を満たすために、植物タンパクの物性等の品質転換による肉様素材の供給への必要性が研究を推進したことも事実である。

本研究ではより構造的に肉に近い肉様素材のタンパク加工品として2軸エクストルーダーで製造する高水分系の組織化物を捉え、その開発を目的として研究をおこなった。まず、材料は最もタンパク源として安価であり、一般的な大豆のタンパクを用いて組織化物の製造を試みた。日本においては毎年5百万トンの大豆が輸入され、その4百万トン程度が植物油の原料として利用されている。油を分離した副成物からタンパク原料が製造されるが、通常の利用法での需要は限られていることから、その副生物のほとんどが飼料となっている。大豆の組織化物の開発目的はこれらの付加価値向上及び資源の有効利用も一因となっている。

2. 2 においては、まず材料の加工特性を把握するための実験として、処理水分や pH の影響を調べた。さらに加工に関して最適な温度や処理時間を検討し、そこで大豆タンパクに熱可塑性に似た性質を見いだした。2. 3 ではこの大豆タンパクの性質を利用した 2 軸エクストルーダーを用いた新たなタンパク加工法としての射出成形法について装置開発を含めて検討を行った。

次に 2. 4 ではタンパクの組織化の一般性の確認として、魚肉タンパクでの組織化実験も行った。ここで用いたブナザケ（繁殖期の肉質の低下した鮭の俗称）については、利用用途の少ないこの素材の付加価値向上も付随的な目的となる。そして 2. 5 において大豆タンパク及び魚肉タンパクの高水分での組織化実験での結果から、最終的に組織化の成因についての考察を行った。

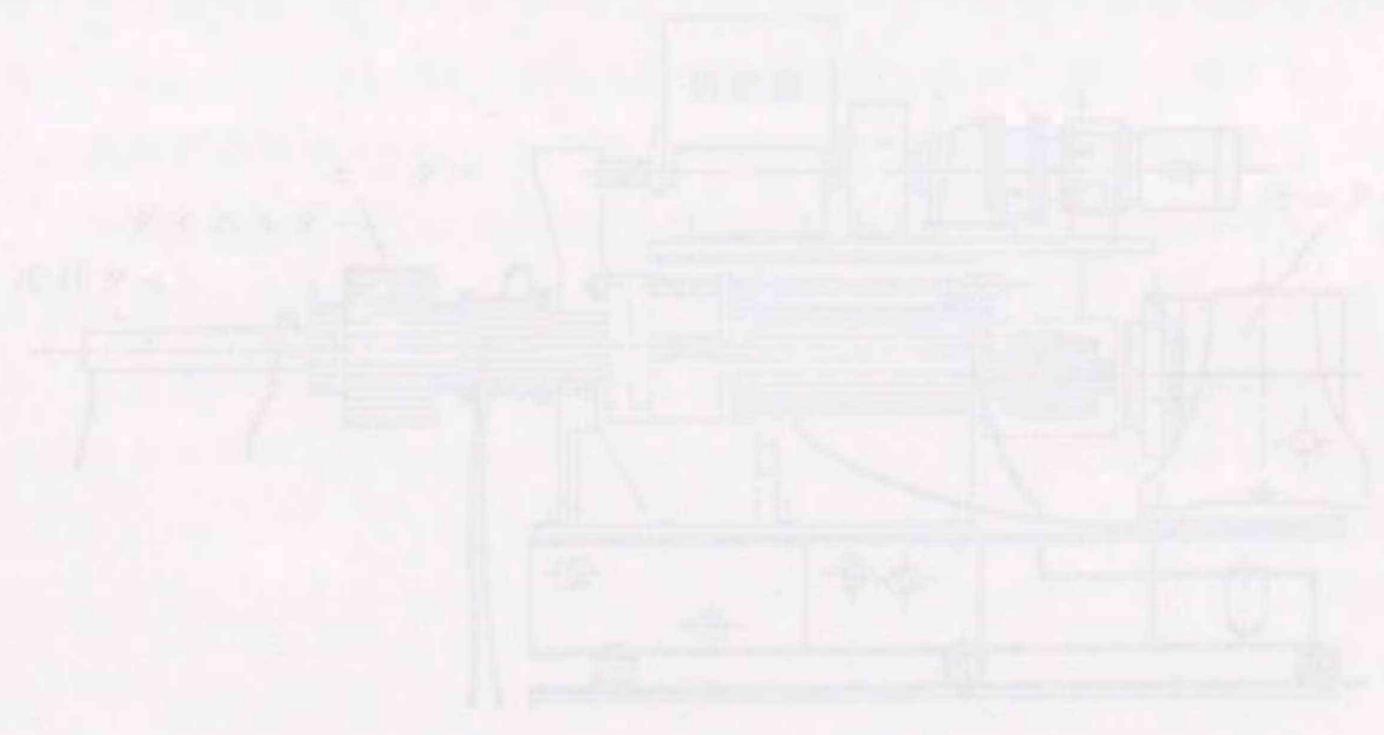


図 1.4 干製原料に適用した 2 軸エクストルーダー

(1) 実験方法

使用した原料は、(前) 4 章で述べたように、(1) 乾燥大豆粉 (Defatted Soy Flour) を 0.5% の水分を含有させた状態で、直交偏光顕微鏡 (Polarized Solubility Index) 測定による組織化度の測定に用いた。大豆タンパクでの組織化実験は、前記の材料の特性を踏まえ、その材料の全量に対して 10% の水分を含有させた状態で、一層に乾燥させた。この場合、乾燥させた材料の水分含有率は、乾燥させた材料の水分含有率に 10% の水分を

## 2. 2 脱脂大豆の組織化物製造

### 2. 2. 1 pH及び処理温度の影響を検討する予備実験

基本的な加工条件の検索を行うために処理温度及び材料のpHを調整して、タンパク質の組織化に及ぼす影響を検討した。本検討には2. 2. 2以降の検討に使用した2軸エクストルーダーではなく、その予備実験として図14に示すフランス・クレクストラル社の2軸エクストルーダーを用いた。したがって装置の仕様に差がある。そのために、この予備実験の最適処理温度や滞留時間は2. 2. 2以降の測定値とは直接に比較できないため、この予備実験の結果は、本試験のための参考とした。

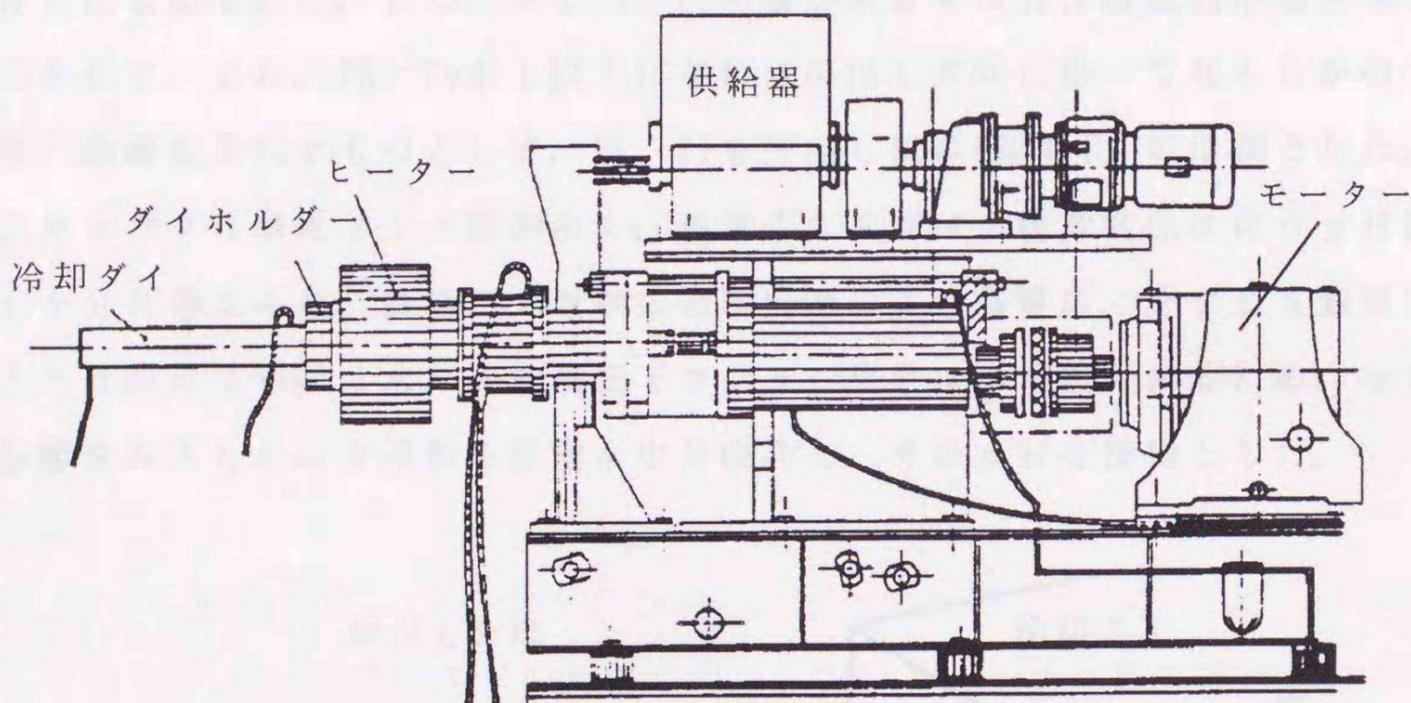


図14 予備試験に使用した食品用2軸エクストルーダー

#### (1)実験方法

使用した原料は(株)日清製油の脱脂大豆粉(タイプFT)(以後脱脂大豆粉: Defatted Soy FlourをDSFと呼ぶ)で粗タンパク55%、窒素溶解指数(Nitrogen Solubility Index: 以後NSIと呼ぶ)は約33であり、大豆タンパクでの組織化実験においては全てこの材料を使用している。NSIとは試料中の全窒素に対する水溶性窒素の割合を示しており、一般に水溶性タンパク質の割合を意味しており、このNSIは加熱処理及びpH等の変化により影響を

受けるため、タンパク質の熱変性の度合いの指標としても用いられる。試料に用いたDSFのNSIは33と低く、製造工程中に加熱処理等による変性によってタンパク質の水溶性が低下している材料である。

エクストルーダーの運転条件等はスクリー回転速度60rpm、原料供給速度14kg/hr、原料水分60%になるようにDSFとは別に水をポンプでバレル内に供給、ダイ温度0℃の運転条件でDSFを処理した。押し出し物の組織化の度合いの測定として、押し出し物の引張り破断強度を用いた。図15に示すように2種類の試料を打ち抜き、それぞれをレオメーター(不動工業NRM-3002D)にて引張り強度を5回以上測定し平均値を求めて破断強度とした。FLは押し出し方向に沿った試料の破断強度を表し、Fvは押し出し方向とは直角方向での破断強度を表したものである。したがってFL、Fvの値が大きくなれば組織化が強まったものとして、また、FL/Fvが1以上になれば押し出し方向に沿ってなんらかの方向性、繊維性を示すものとして、FL、Fvを押し出し物の「組織化」の指標とした。大豆タンパクは酸性アミノ酸が多く、処理中にタンパク構造変化に伴うpH変動も十分に考えられ、供給口で原料未処理段階のpH調整は、必ずしも意味があるとは思えない。また、高温高圧下でのpH測定は不可能であるため、pHの影響をみるために生成物を蒸留水中で磨砕し、そのpHを指標とした。

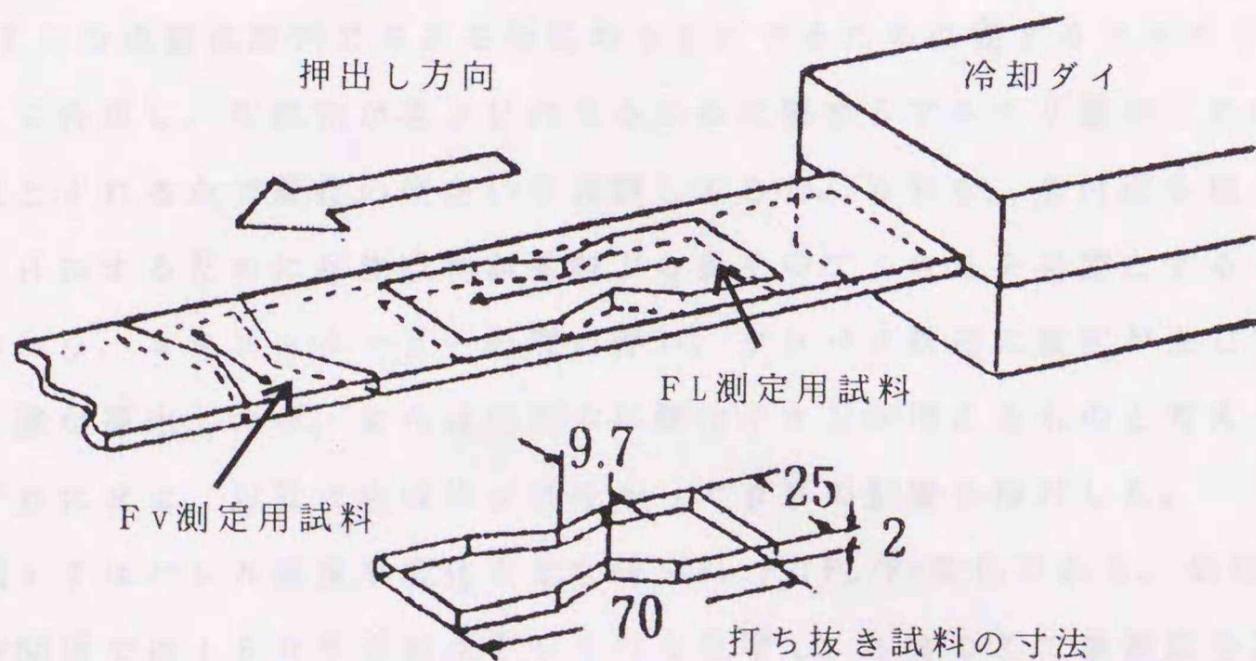


図15 押し出し物の強度測定のための試料調整法

ここで、主に2軸エクストルーダーの実験に使用した大豆タンパクについて簡単に説明する。大豆タンパクは約90%が水溶性であり、その内の80%が酸沈澱タンパク質で大豆グロブリンと呼ばれている。この大豆グロブリンはグリシニン(11S)と $\beta$ -コングリシニン(7S)を主成分としている。これらのアミノ酸組成はグルタミン酸及びアスパラギン酸の酸性アミノ酸が45%を占めており、特徴的であるといえる。大豆タンパクは広く食品に用いられている材料であり、溶解性、凝集性、乳化性、起泡性等のタンパク質に一般に求められる機能を多く有している。しかし、これらの機能性はNSIの低下によって失われるものが多く、そのため材料となる分離タンパク質を得るためには過度な加熱工程等を使用しない油分離工程が必要となり、コスト高となっている。したがって一般的な油製造工程から発生する脱脂大豆粉は工程での熱変性等でNSIが30程度まで減少しているために、飼料、醤油や味噌といった醸造用原料及び穀類製品やクッキー等へ利用されている。エクストルーダー処理ではこれらのNSIの低い原料から肉様の素材が加工できることが確認されており、一般的に製油工程において多く発生するNSIの低い材料においての食品への利用拡大を図ると共に、これらの付加価値向上が望まれる。

## (2) 実験結果及び考察

図16の点線は原料DSFを所定のpHにするために要するアルカリ量を直線として表現し、生成物が各pHになるために要するアルカリ量がどれだけその直線とずれるかで変化の度合いを強調してみた。pH6.5付近を境にして高いpHにするためには生成物が原料より多くのアルカリを必要とすることがよくわかり、エクストルーダー処理に伴い、タンパク構造に変化が生じて酸性アミノ酸が露出したか、または処理中に酸性イオンが増えるものと考えられる。いずれにせよ、以後は生成物pHをもってpHの影響を検討した。

図17はバレル温度を変化させた時のFL, Fv, FL/Fv変化である。処理温度と強度の関係では160℃を起点としてFLは急増し、180℃で最高値を示した。これに対して、Fvはあまり変化せず結果的にFL/Fvは2~3の高い値を示して、配向性を得たことははっきりしている。

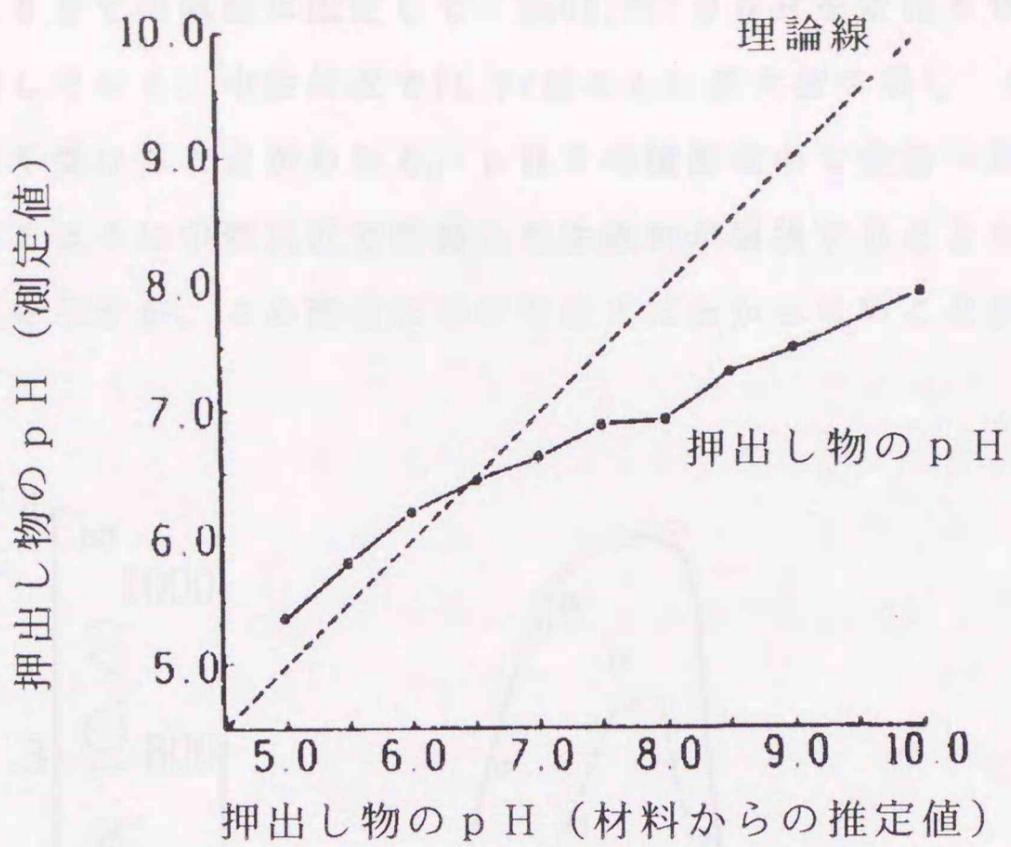


図 1 6 押し出し物の pH と原料の pH のずれ

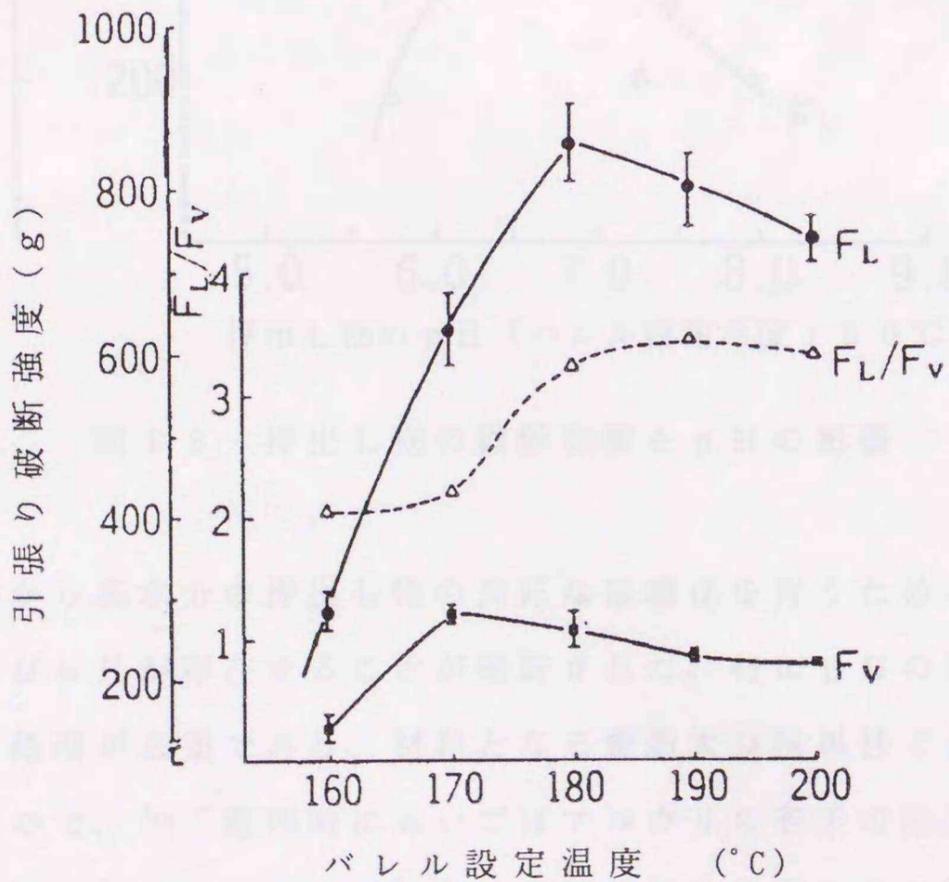


図 1 7 バレル温度と押し出し物破断強度の関係

図18は180℃の温度に固定して NaOH, HClで pHを変化させた場合のFL, Fv変化を示している。中性付近でFL, Fvはともに最大値を示し、FLはFvより pHの影響を強く受けることがわかる。pH7の緩衝液中で室温一昼夜、膨潤させると図にあるように中性付近で作製した生成物が崩壊することなく型を保って最大膨潤度を示すが、この理由についてはまだわからないことが多い。

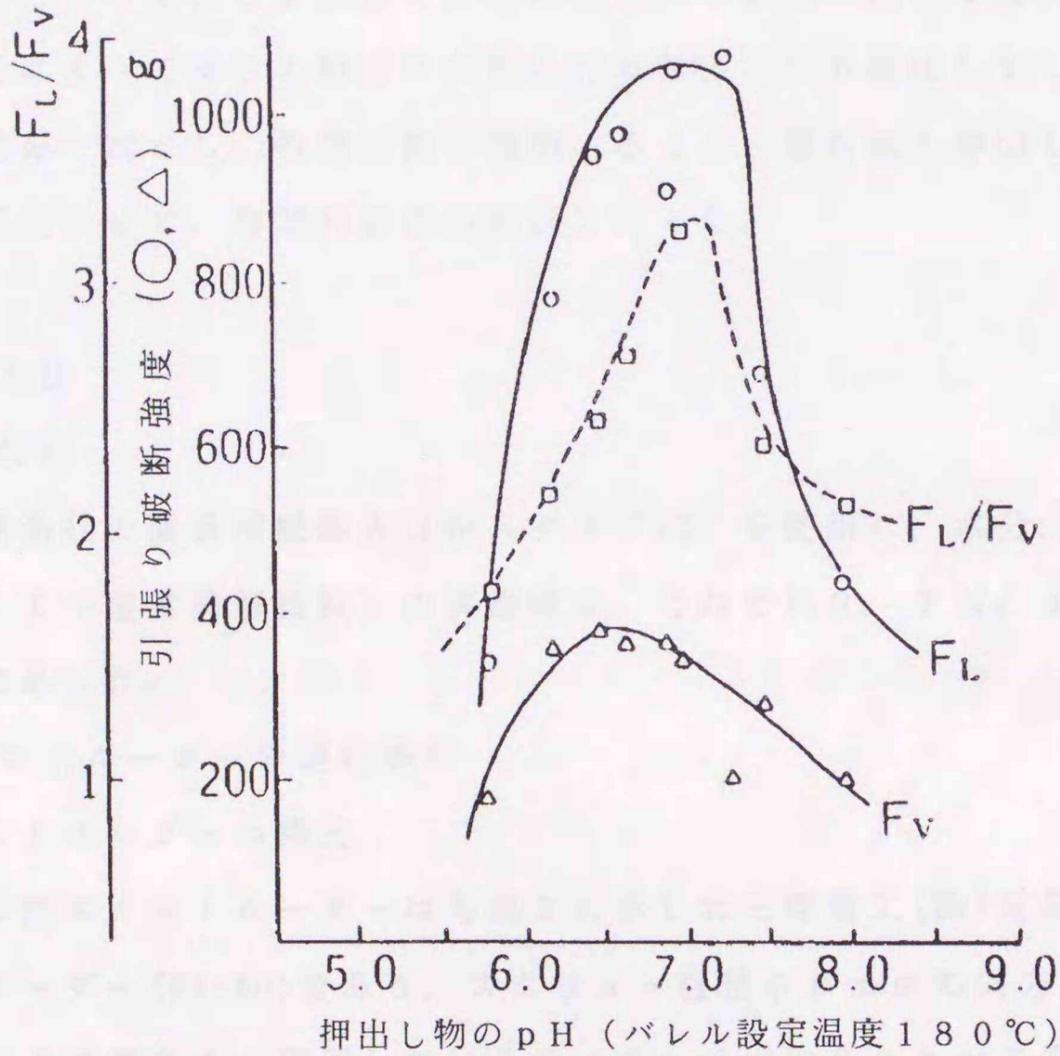


図18 押出し物の破断強度と pHの影響

以上の結果から高水分の押出し物の良好な組織化を行うための条件として、最適な温度及び pHが存在することが確認された。特に pHの影響は大きく、中性付近での処理が必要であり、材料となる脱脂大豆粉単独では若干酸性側での処理となるので、加工処理時にはアルカリの若干の添加による pH調整の必要性が示唆された。温度については処理時間や装置による測定箇所での温度自体の信頼性が問題となるために2.2.2において温度と処理時間の影響として新たに検討した。

## 2. 2. 2 繰り返し押し出しによる組織化物の再構成

処理時間と温度の影響を把握するための実験を試みた。2軸エクストルーダー内部での材料の滞留時間（加工部での処理時間となる）は供給量及びスクリー配列、スクリー回転数によって変化する。供給量のみ変化させることでスクリーの移送能力以内での回転数で処理をする場合に、供給量に比例して滞留時間は調整できることになる。しかし、供給量の変化は内部における材料の充填度合いの変化をもたらすために時間的な要素に加えて材料自体がスクリー回転によって受ける影響や内部圧力の発生状況も変化してしまう。そのため供給量を一定とし、処理回数を増加すること（繰り返し押し出し処理）で処理時間を延長させて、時間的効果の検討を行った。

### (1) 実験方法

#### I. 実験材料

日清製油社の醸造用脱脂大豆粉（タイプFT）を使用し、水分、粗タンパク質及びNSI（窒素溶解指数）の実測値は、それぞれ9.7%、49.8%、35.5であった。

#### II. エクストルーダーの運転条件

##### 1. エクストルーダーの諸元

使用したエクストルーダーは写真3に示した三菱重工(株)食品加工用2軸エクストルーダー（FT-60）であり、スクリー直径60mmの同方向回転の完全噛み合いタイプである。使用しているモーターは出力22kwの直流モーターであり、減速機によりスクリー回転数は、10～250rpmで使用できる。軸間距離とスクリー半径の比（Pc）は1.8であるので3条ネジスクリーまで設置可能である。スクリー長さ180mm及び60mmのセグメントで構成されており、前送りスクリーは2条ネジでピッチが60mm・40mm・30mmの3種、1条ネジが25mmの1種類、逆送りスクリーとして切り欠き1条ネジ、ピッチ25mmを用いた。1章で説明したように条数やピッチ数により内部での移送能力や材料圧縮作用が調整することが出来る。また逆送りのスクリーの設置により内部の高圧部分の設定や材料の充填・混練作用を付与できる。しかし間隙が非常に狭いものであるためにスクリーフライトに

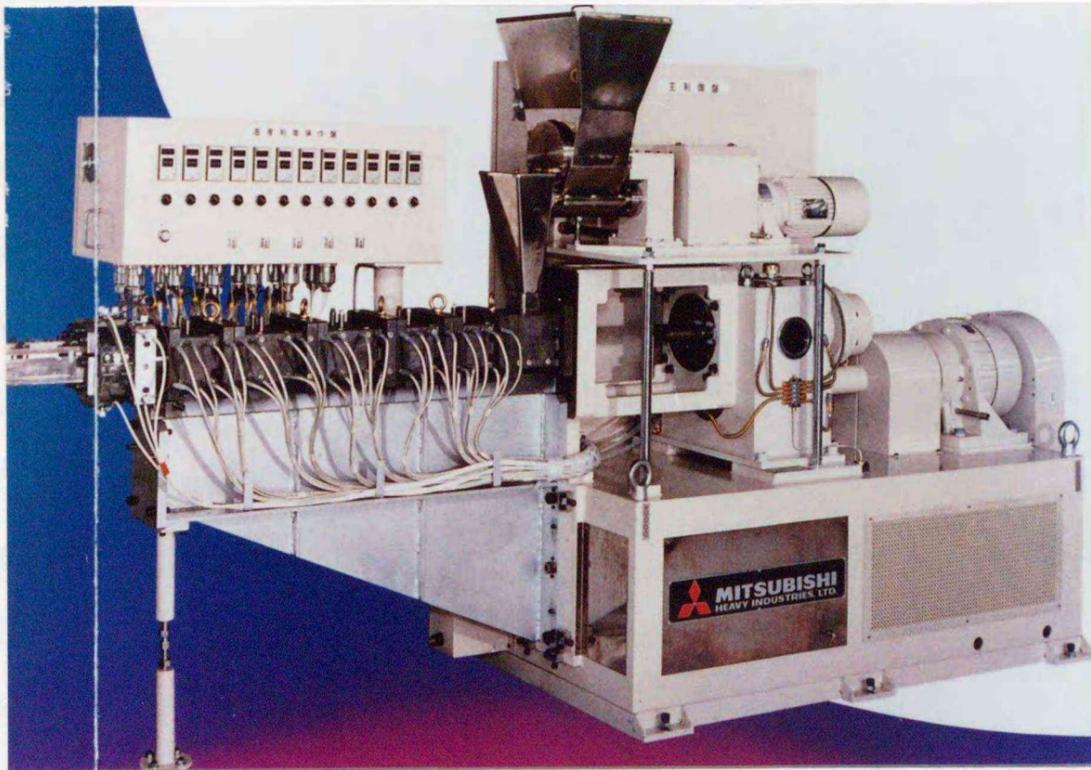


写真3 食品加工用2軸エクストルuder（三菱重工業（株）FT-60）

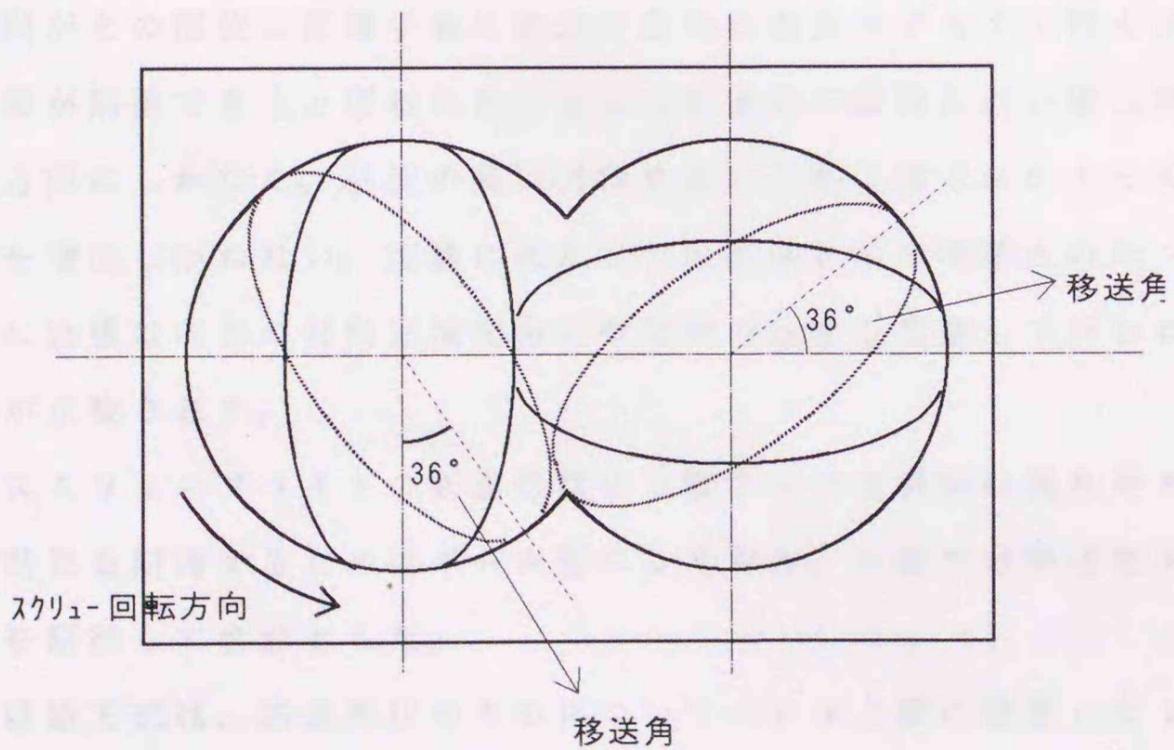


図19 ニーディングディスクの設置例（実線-1枚目、点線-2枚目）

切り欠きを設け、過度な圧力発生や材料の閉塞を防止している。また厚み10 mmの楕円状のニーディングデスクを作成し、内部での材料への混合、分散、混練効果を寄与した。図19にニーディングデスクの設置例について示した。

このデスクは材料の移送能力はないが後部に移送能力の前送りスクリーンを設置することで利用が可能である。このデスクによる材料の混合分散効果は2色の着色したドウをペレット状にして供給口から2軸エクストルーダーに投入して確認した。先端での材料充填にともなう内部での圧力発生による2次的な材料の停滞・混合を防ぐために出口は解放系として実験を行った。デスクの設置はデスクを交互に $96^\circ$ の移送角で重ねたものと移送角 $36^\circ$ で重ねたものについて供給量、スクリーン回転数等の運転条件を一定にして行った。図19は移送角 $36^\circ$ の設置例を示している。内部の材料の分散の様子を調べてみるとほぼ直角にデスクを配置したもの(移送角 $96^\circ$ )はわずか3、4枚のデスクでその材料の色は融合して十分な混合・分散効果を示していた。写真4にその分散度合いの実験時の各スクリーンチャンネルの材料の状態を示す。移送角が $36^\circ$ のものはデスク自体がラフな前送りのスクリーンを形成したためか材料は停滞することなく前方へと送られてデスク部分での材料の混合・分散効果は乏しかった。しかし、実際のエクストルーダー運転の場合先端での材料停滞は予想されることであり、移送角が前送りの的に設定されていても十分に材料がその部位に停滞すれば移送が直角の場合のデスク工程とほぼ同様な混合効果が期待できると思われた。さらに移送角が直角に近い場合材料の逃げは前後方向にしかなく、粘度の高い材料や高い圧縮状態ではかえってモーターの負荷を増加しかねない。実験にあたっては混合効果の確認されたニーディングデスクに設置は内部の材料充填度合いや材料の粘度を考慮して行わねばならないことが示唆された。

個々のスクリーンフライトの断面形状は2条ネジでは材料の混合やセルフワイピング効果を期待するためにボール形にしており、1条では移送性やシール性の効果を期待して台形とした。

材料の供給方式は、粉体形状のものについてバレル上部に設置した1軸スクリーン式フィーダーにより、又、必要な水分及び液状試料はペリスタポンプ(山善PR-D)によりバレル内に別途、供給した。エクストルーダーの内部環境の

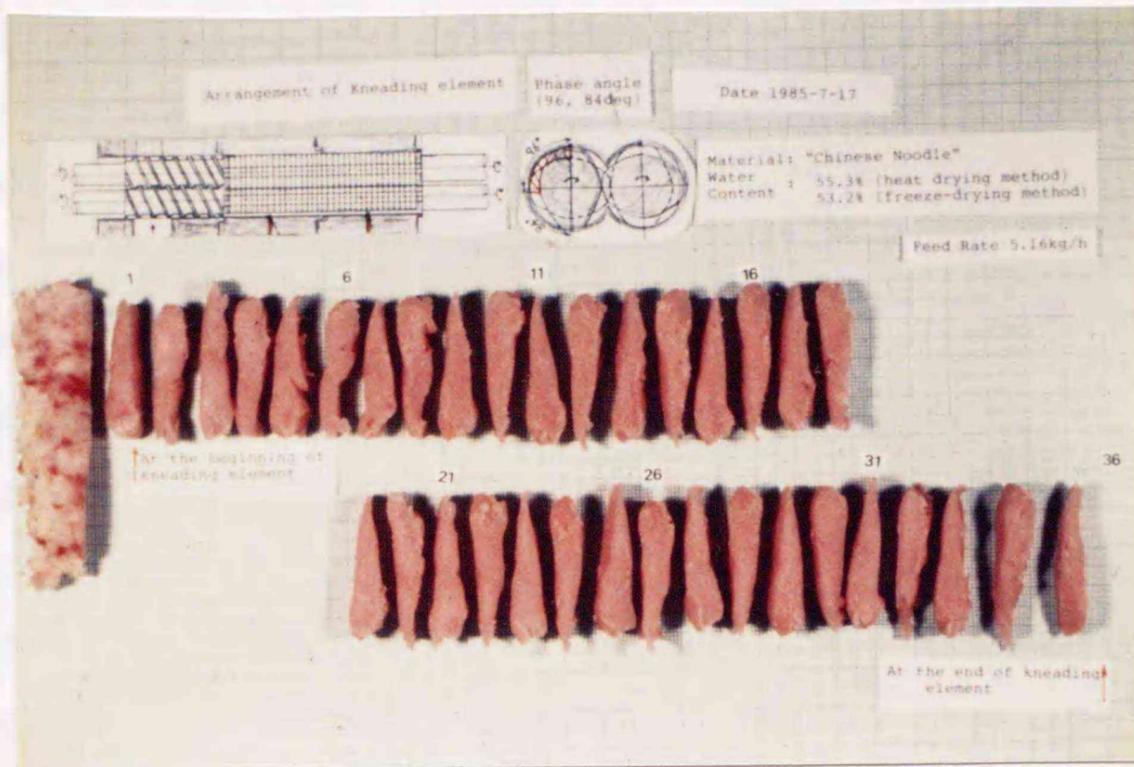


写真4 ニーディングデスクの材料分散効果（移送角 $96^\circ$ の場合）

測定は耐圧性の高いバレル内部の条件を捉えることが必要のために非常に困難であるが、本研究で利用した圧力及び温度測定方式はバレル上部から内部まで貫通した穴を開けて、センサー表面がバレル内壁面とほぼ同一となるように設置して測定をおこなった。圧力計は東洋ボールドウィン社のダイアグラム式の圧力計（HPB-300N-EX）最大圧力 $30\text{MPa}$ 、温度計は理化工業社製、耐圧熱電対（K(CA)type class:0.75）を用いて各バレルにて測定を行った。バレル温度調節は別途各バレル側面に2点ずつ熱電対温度計から理化工業社製温度調節器MF-480Hに入力し、温度設定のためのヒーターのON-OFFと冷却水の電磁弁のON-OFFを行った。したがって実験に際してのバレル温度はこの温度調節器の数値を言い、内部の実温度はバレル上部からの温度計による数値を言う。この温度及び圧力の測定はバレル5ブロックと先端部分（ダイ部）において測定を行った。ダイ部は低水分系での実験に際してはフラットダイを使用するが、本研究において検討した高水分のタンパク材料に際しては冷却ダイを作成し使用した。スクリー先端部からダイ部への材料の滞留及び流れの乱れを防ぐためにスクリー先端に3ダルメージトローピードスクリーを設置すると共にダイホルド内部のデッドスペースの発生を抑えるためにアダプターを用いた。2軸エクストルーダーの運転条件としては対象となる材料によって変化するが、供給量は

内部の空間容積やスクリー回転数から概ね10～100 kg/hr程度である。

## 2. 冷却ダイについて

1章で述べたように高水分素材を内部の水分を保持したままの製品として安定的に押し出す際には、高温高压下で処理されている際に内部の水分等が持っている熱を十分に奪い去ってやることが不可欠となる。内部で材料が加工される場合に通常100℃以上の高温となっているが、内部での圧力がその温度の蒸気圧より高いために、材料は高水分系であっても液体で挙動する事が出来る。しかし、製品を一定の形状として成形し、外部に出す場合には材料の温度を十分に下げてやらなければ材料内の水分が蒸気化することで四散してしまうのは1章での冷却ダイの説明で述べたとおりである。連続して押し出されてくる押し出し物の熱を十分に奪うための冷却ダイでの冷却能力は重要な問題となる。バレル先端部から徐々に温度調節で材料温度を低下させることも可能である。しかし、材料によっては温度の低下により粘度が急激に上昇する場合があります、内部で材料の閉塞、過度な圧力発生を引き起こすこともあり、ダイにおける成形とともに材料の冷却の役割が担われることになる。図20に本研究に使用した冷却ダイを示す。今回はシート状の押し出し物が得られるスリットタイプとした。

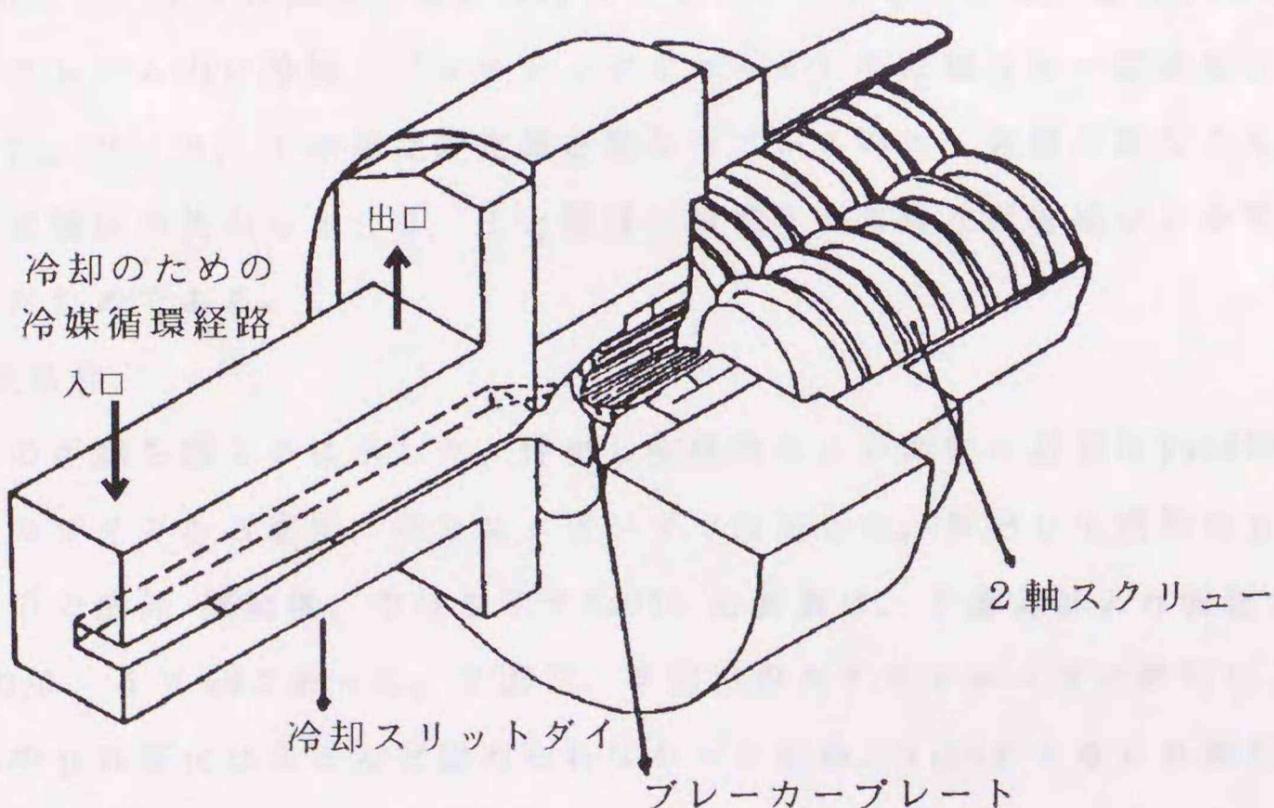


図20 冷却ダイの構造（スリットタイプ）

試作した冷却スリットダイは上下2分割となっており、開口部の寸法は幅50 mmで厚みを10 mm程度調節できるものであり、上下に4室の冷却液の循環溜を持ち、内部での熱交換効率を向上するように努めた。また材料により冷却度合いが変化することが予想されたため、冷却液はジエチレングリコールの希釈液を用いて常温から-20℃程度まで調節できる。冷却スリットダイも長さを30 cmと20 cmの2種を用いて実験を行った。

脱脂大豆での組織化実験には冷却スリットダイを用いた。冷却ダイの設置にあたってはスクリー回転で前方へと送られた材料がダイ入り口へと乱れることなく導くためのダイアダプターを用いてダイ直前では多数の小穴に材料を通して、材料の流れを整えると共に内部での安定した圧力状態を作り出すことに貢献している。

### Ⅲ. 運転条件

使用したスクリー配列とバレルの温度設定値を図21に示した。原料が充填し、圧力の高まるA部を反応部と想定し、この部分をバレル温度の最高温度帯とした。スクリー回転数及び供給量(原料、水分込み)は、60 rpm、20 kg/hrとし、ダイは高水分のため冷却スリットダイを用いた。このダイは上下分割のフレーム内に冷媒(ジエチレングリコール)を循環させ一定温度0℃に設定した。2.2.1の温度設定値と異なっているのは、装置が異なるために温度測定場所の差から2.2.1と同様な組織化の良好な温度域が50℃程度低下したためである。

### Ⅳ. 実験条件

実験の手順を図22に示した。押し出し生成物のpH調整に必要なNaOH溶液はバレルのサイドから直接、ペリスタポンプで添加した。押し出し生成物のpHが蒸留水中で磨砕・懸濁後、中性を示すNaOHの必要量は、予備実験より脱脂大豆粉1g当り0.14 mMであった。2回目、3回目のエクストルーダー処理による押し出し物のpH変化はほとんど認められなかったため、NaOHによるpH調製は1回のみとした。

2回目、3回目処理に際してはフードカッター(受豊鉄工FC-27D)によって押し出し物を5~10 mmの小片に細断し、供給した。

バレル設定温度 (°C)

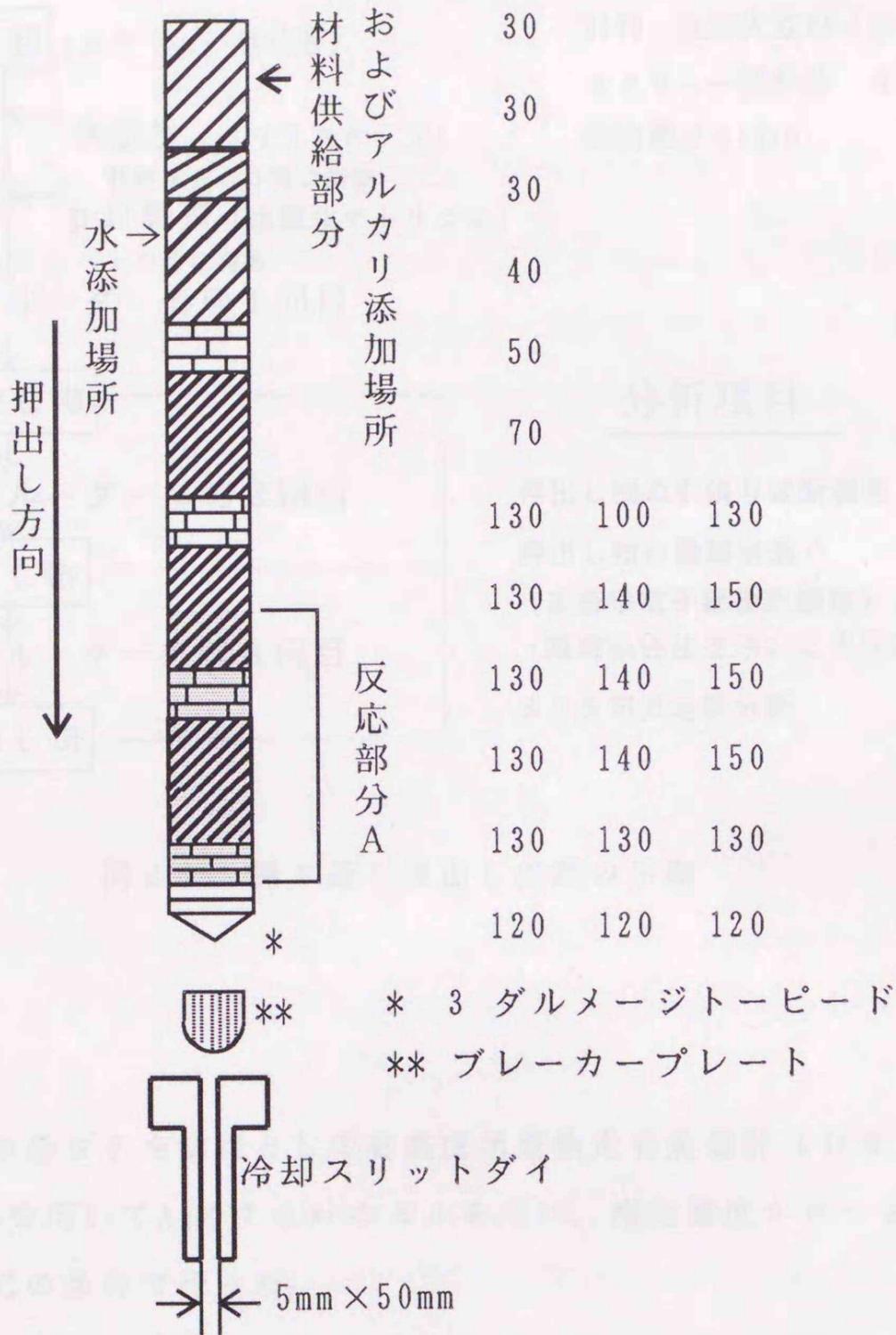
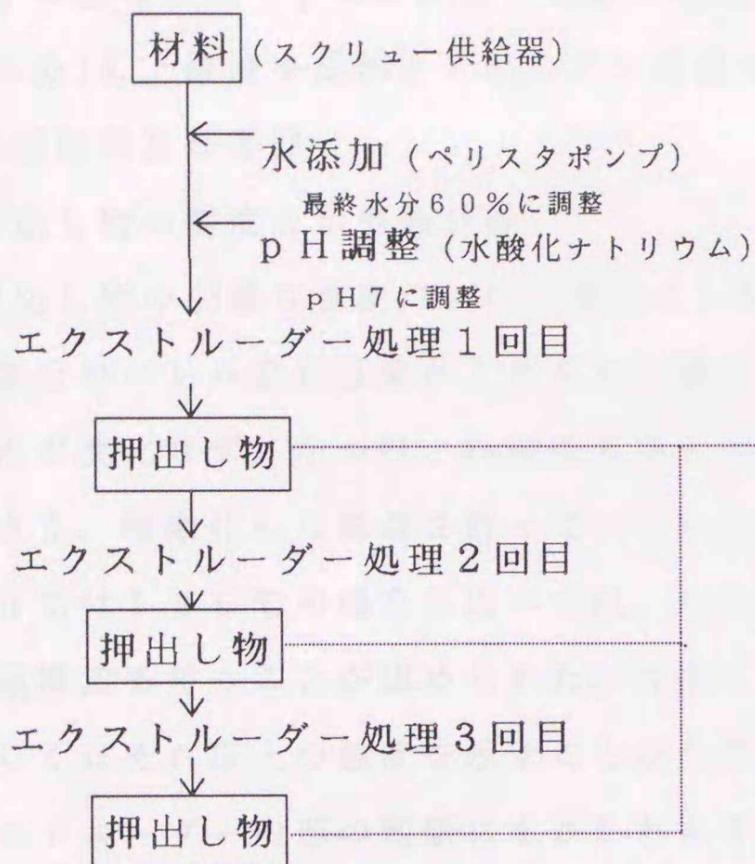


図 2 1 スクリュー配列とバレルの温度設定値

## 実験手順



## 実験条件

材料 脱脂大豆粉 (DSF)  
スクリー回転数 60 rpm  
供給量 20 kg/h

## 分析項目

押し物の引張り破断強度  
押し物の微細構造  
(走査型電子顕微鏡観察)  
(組織染色法を用いた光学顕微鏡観察)  
SDS電気泳動分析

図22 繰り返し押し実験の手順

## V. 試料の分析

### 1. 示差熱分析

水分60%のDSFを試料として高感度示差熱走査熱量計(DSC:第二精工舎SSC/570)を用いてAgの70 $\mu$ lのセルを用い、測定温度30~200 $^{\circ}$ C、昇温速度毎分1 $^{\circ}$ Cの条件で行った。

### 2. 破断強度の測定

2. 2. 1の予備実験で述べたと同様な方法を用いた。

### 3. 微細構造の観察

微細構造は走査型電子顕微鏡(SEM)または光学顕微鏡を用いた組織化学的手法で観察した。すなわちSEMでは、対象試料を凍結乾燥後、Pt-Auでイオンコーティングして観察した。後者では、試料を常法により固定、脱水後、スーパー樹脂にて包埋し、切片を作成後、CBB(Coomassie Brilliant Blue)にて染色しタンパク質に由来する微細構造を100、200倍の写真撮影で検討した。

#### 4. SDS電気泳動

押し出し物を1% SDS (Sodium Dodecyl Sulfate)、1% 2-Mercaptoethanol 含有リン酸緩衝液 (pH 7) にて常温1昼夜攪反後、遠心分離 (4800×g、20℃、5分) し上澄液を試料とした。ゲル濃度は7.5%である。

#### (2) 実験結果及び考察

##### I. 押し出し物の強度と示差熱分析

各押し出し物の引張り強度FL、Fvの変化を、図23に示した。図21に示すAの反応部分のバレル設定温度が130℃の場合、複数回の押し出しでもFL、Fv共にほとんど変化せず、かつFL、Fvの差もほとんど認められなかった。弾性も非常に小さく、組織化した構造を持っていないことを示唆する。一方、140℃、150℃は130℃の場合に比べてFL、Fv及び弾性が増加し、押し出し物が十分な組織構造を持つことが認められた。押し出し回数を増した場合に、生成物が同等もしくはそれ以上の強度を示すことから再度、押し出し処理する際の細断及びエクストルーダー内部の剪断にもかかわらず、組織が再形成されていることを意味する。そして140℃における押し出し回数の増加に伴う強度の上昇は、反応時間の延長により反応がより進行したことを、逆に、150℃では2回目から3回目における急激な強度の低下、生成物表面のかわ変現象の進行の事実から、反応時間すなわち滞留時間の延長によりこの温度では大豆タンパクの一部分解、変性が生じたことを示唆している。

130℃での繰返し押し出しでも十分な強度を示さないことは組織化にはそのための下限温度が存在するものと考えられる。K.C.Rheeら<sup>41)</sup>は1軸型を用いた大豆タンパク組織化に関する研究で組織化の下限温度を138℃と報告しており、今回の実験の結果とほぼ一致している。DSCを用いて水分60%でのDSFの熱の授受を調べると図24に示すように103.9℃と125.6℃に大きな吸熱ピークが観察され、後者のピークが130℃付近にあるのが興味深い。おそらく既に熱変性している脱脂大豆タンパクの溶解及び反応がこの温度付近で始まるものと思われる。

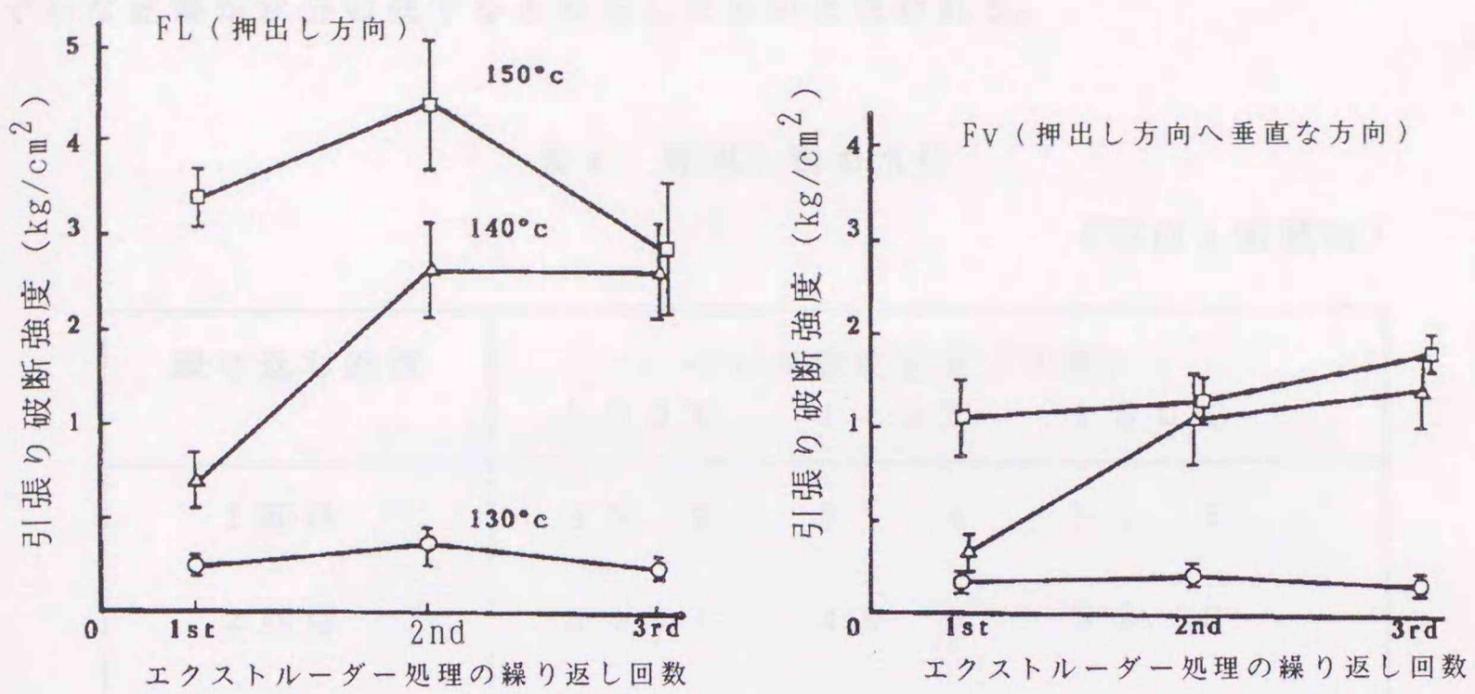


図 2 3 押し出し物の破断強度

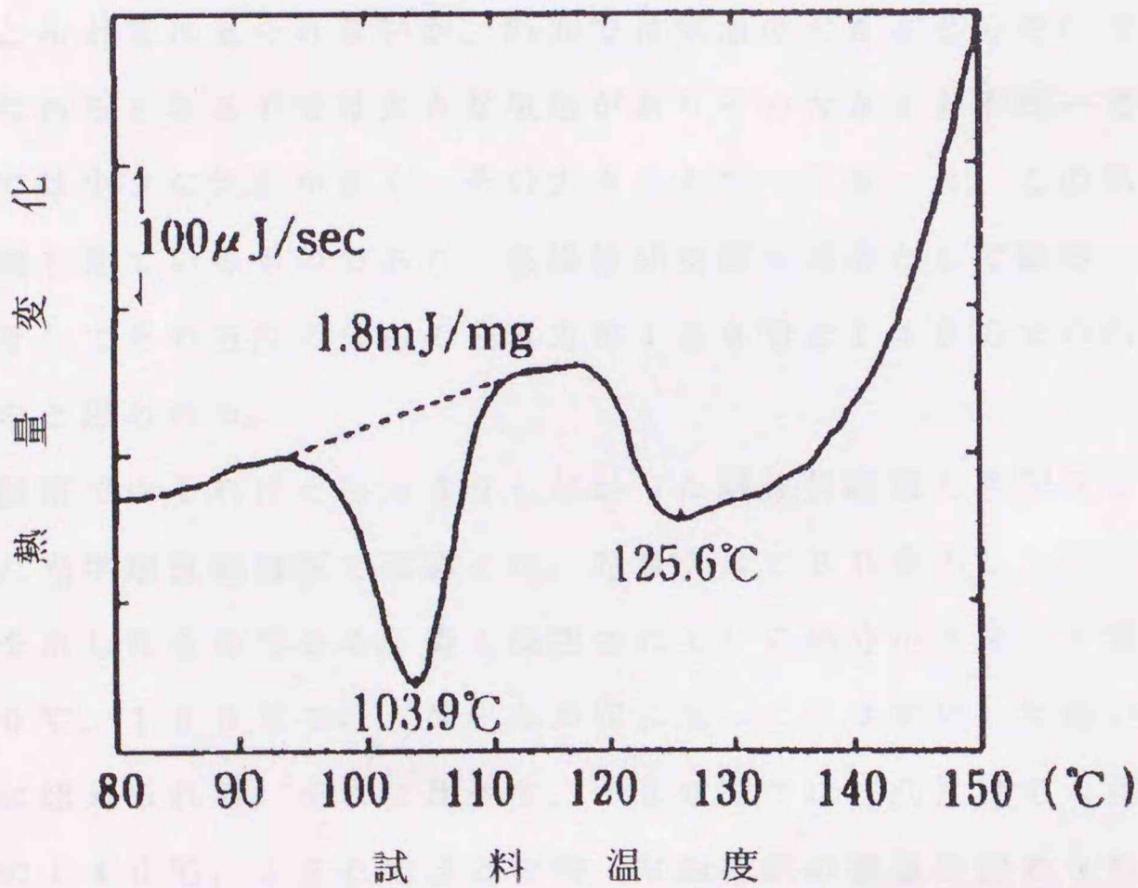


図 2 4 DSF の示差熱分析

押し出し物の水分を表 4 に示した。処理時の水分は 60% に設定してあるが、ダイ出口における生成物からの若干の水蒸気の発生あるいは細断時におけるわ

ずかな乾燥が水分の低下をもたらしたものと思われる。

表4 押し出し物の水分

(単位：重量%)

繰り返し回数	バレル設定温度 (A部)		
	130℃	140℃	150℃
1回目	55.9	51.4	52.3
2回目	54.1	49.3	52.2
3回目	52.9	52.0	51.4

## 2. 押し出し物の微細構造

130℃、140℃のFL面（押し出し方向に沿った面）のSEM観察を写真5に、同様にFv面（押し出し物の押し出し方向横断面）を写真6に示す。FL面においては両者にほとんど差は見られないが、Fv面では気泡の大きさと分布に差が認められた。すなわち130℃では大きな気泡がありその大きさも不均一であるが、140℃では小さな気泡が多く、その大きさも均一であった。この気泡構造は組織の断面を見ているものであり、各繊維間空間を気泡として観察した可能性があり、そしてその空間の分布の在り方が130℃と140℃でのFvの差に反映したものと思われる。

SEM観察ではそれほどはっきりしなかった繊維状組織と方向性はCBB染色を用いた光学顕微鏡観察で確認した。写真7はCBB染色した押し出し物のFL面の様子を示したものである。青く染色されている部分がタンパク質に相当する。140℃、150℃では、押し出し方向に沿ってほぼ配列した細い繊維状構造が明確に認められる。それに比べて、130℃では方向性はある程度認められるものの140℃、150℃ほどの均一な繊維状の構造は認められなかった。

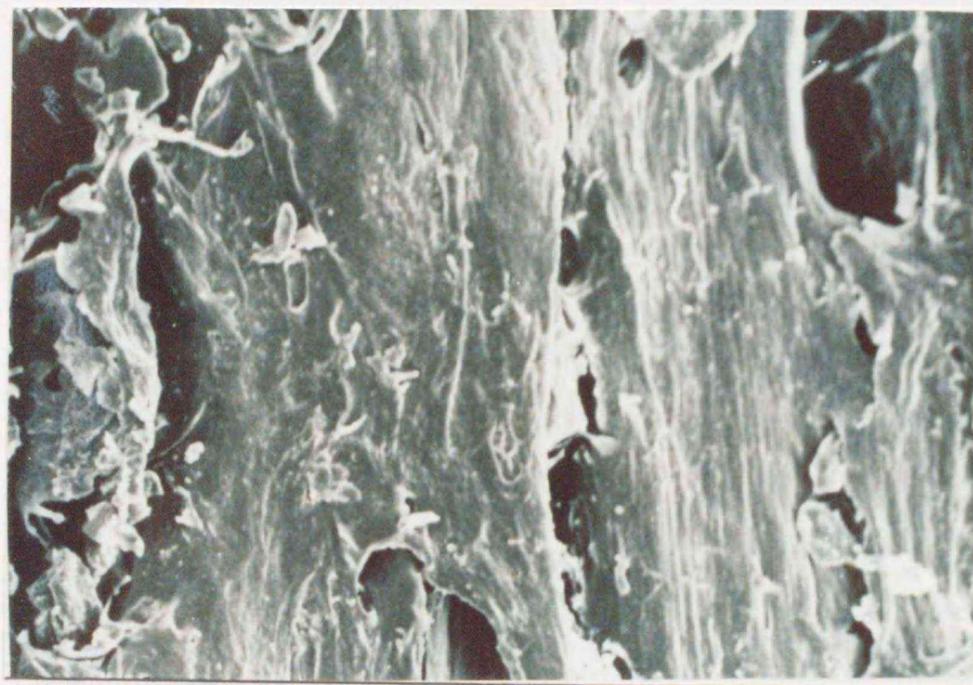
これらの結果は破断強度FL、Fvの結果と良く符合する。140℃、150℃では繰返し押し出しによってもこの繊維性構造に大きな変化は認められず、一方、130℃では3回処理後でも、明確な繊維性構造が見られないのはこの温度では反応、溶解、組織化が十分に起こりえないためと考える。

バレル設定温度

130℃

繰り返し回数

2回目



バレル設定温度

140℃

繰り返し回数

2回目

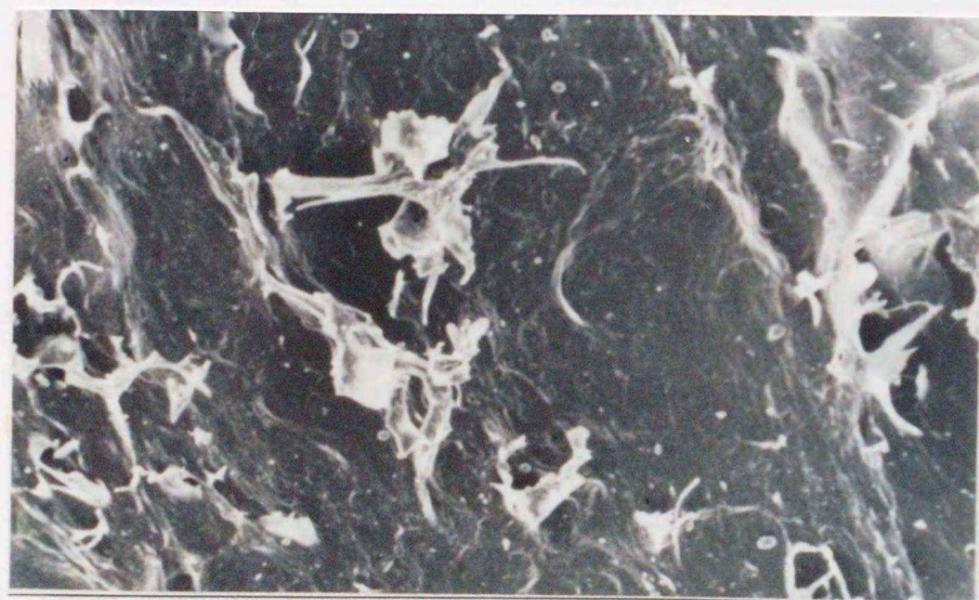


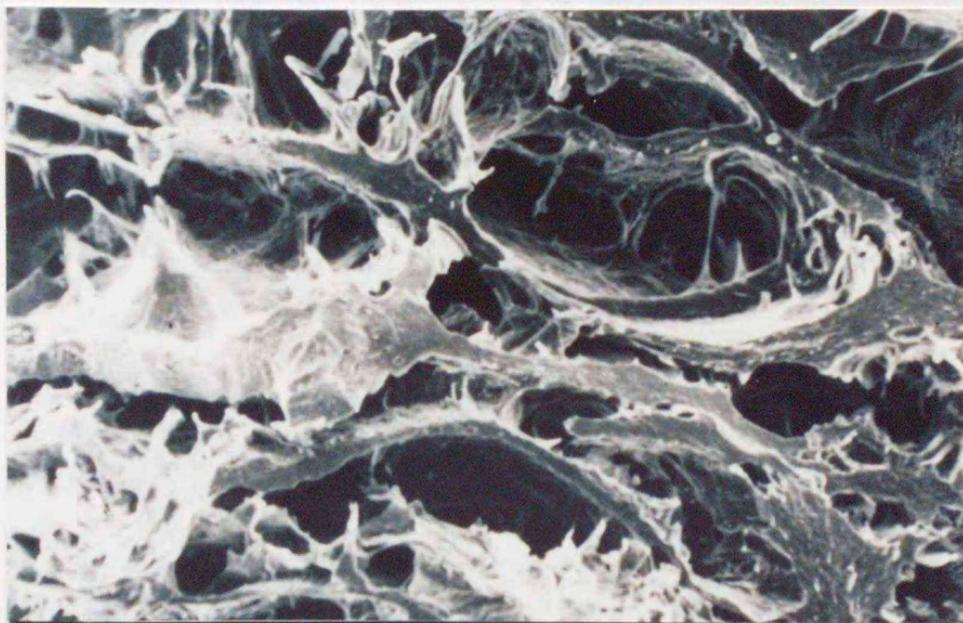
写真5 SEMによる押し出し物の構造—押し出し方向—

バレル設定温度

130℃

繰り返し回数

2回目

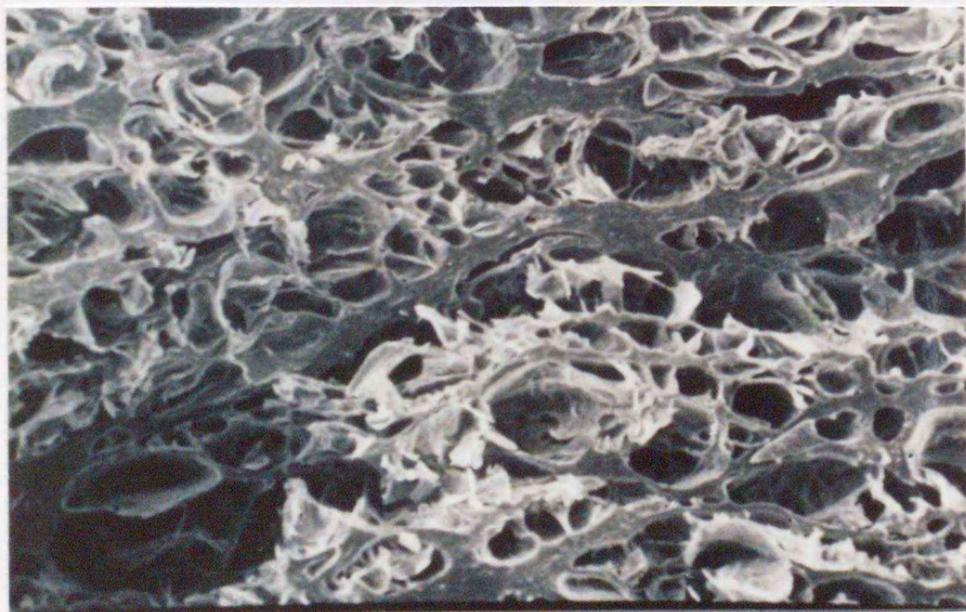


バレル設定温度

140℃

繰り返し回数

2回目



50μ

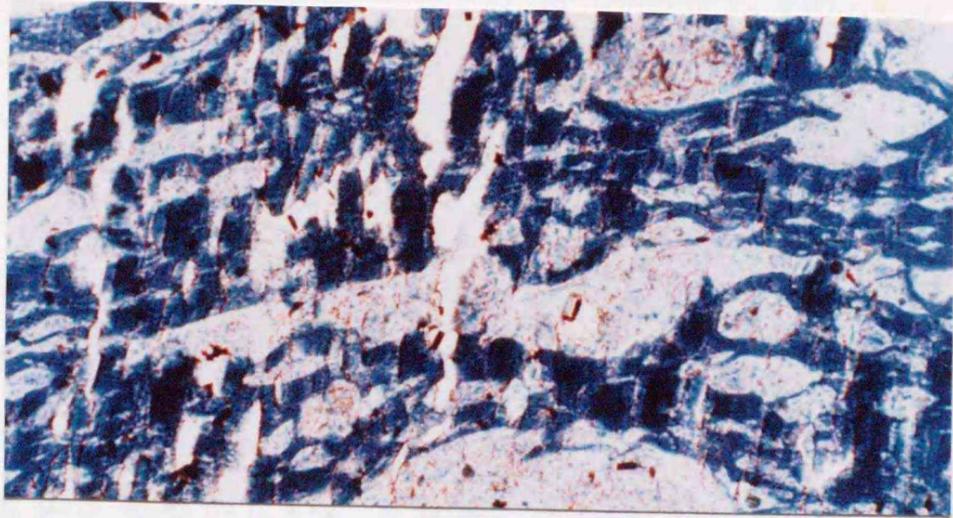
写真6 SEMによる押し出し物の構造—押し出し断面—

押出し方向→

バレル設定温度

130℃

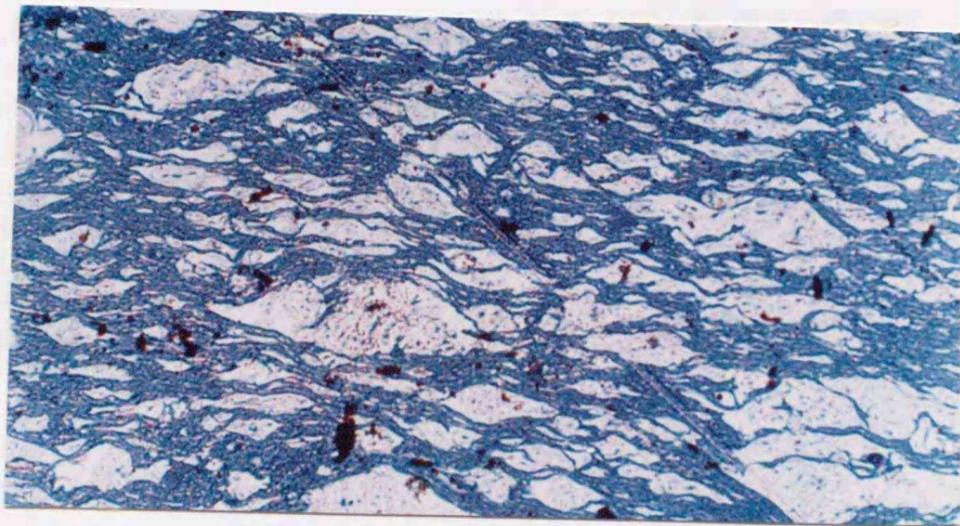
繰り返し回数 1回目



バレル設定温度

140℃

繰り返し回数 2回目



バレル設定温度

150℃

繰り返し回数 1回目

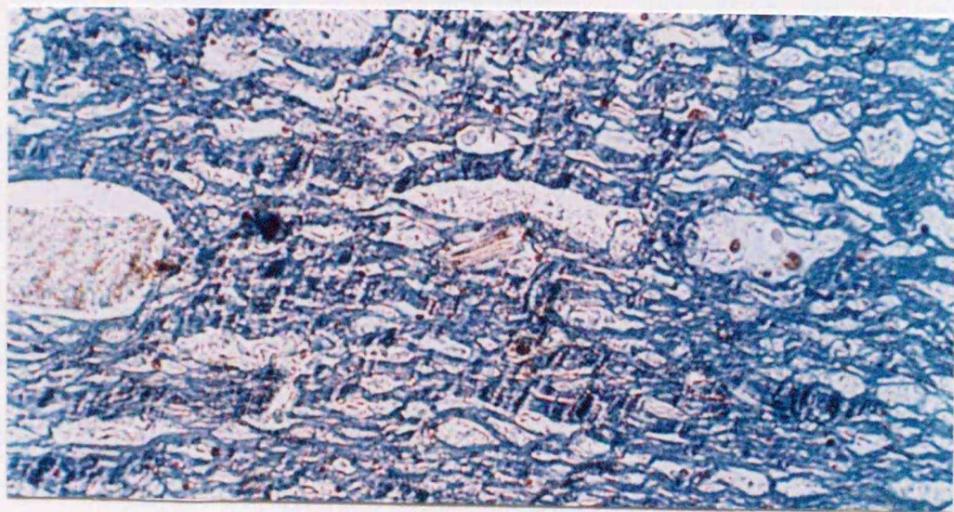
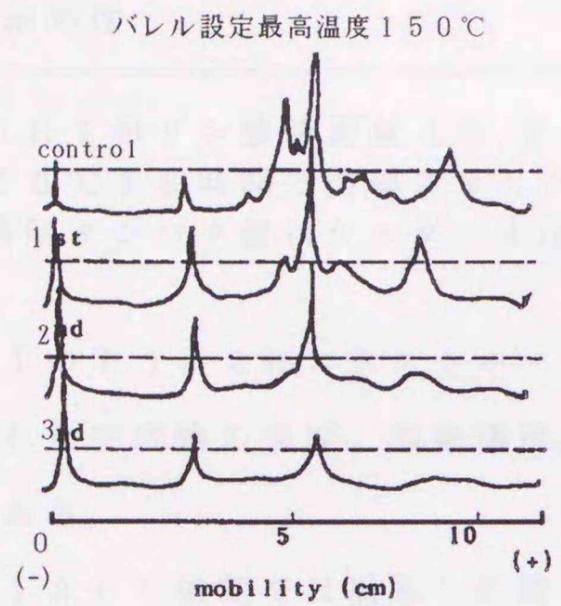
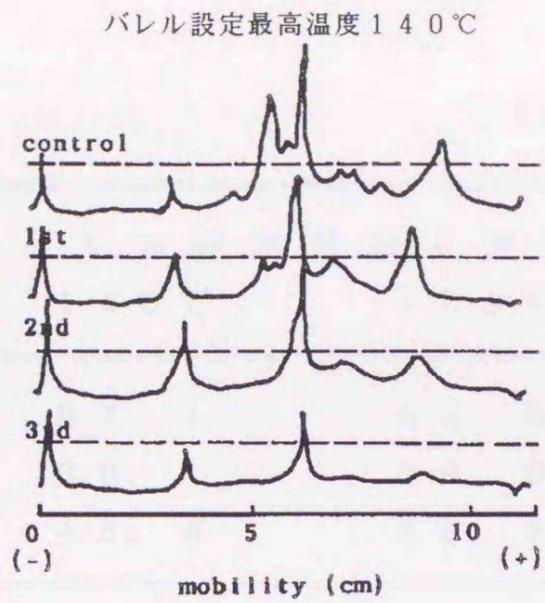
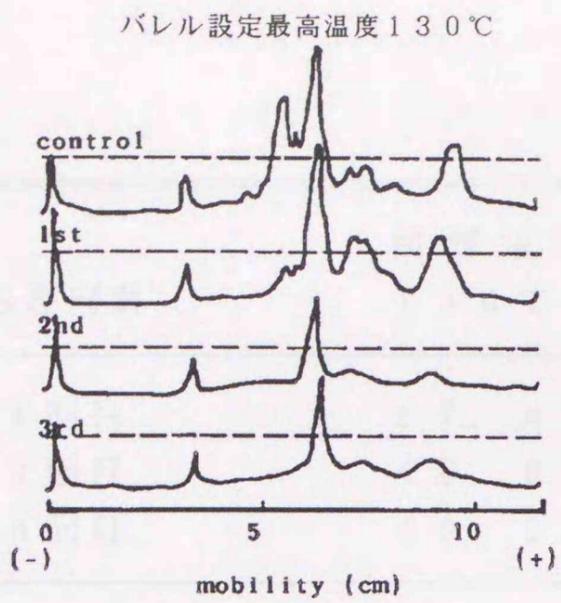


写真7 C B B 染色による押出し物の微細構造—押出し方向—

### 3. 押し出し物の SDS 電気泳動

組織化の反応に伴う DSF タンパク質の変化を SDS 電気泳動のパターン変化から推測しようと試みた。図 25 は未処理の DSF と押し出し物の可溶性タンパク画分の泳動パターンを示す。各条件において押し出し回数の増加に伴い、可溶性成分全体の減少と特定成分の減少が認められた。この特定成分は 7 S、11 S の一部と考えられる。Hashizume ら<sup>42)</sup> は大豆タンパクの熱処理実験で 7 S、11 S の一部が不溶化し、組織化に関与していると報告しており、エクストルージョン・クッキングにおける組織化もこれらの分画に関与していると思われる。デンストグラムから 7 S が最初に溶解画分から消失していくことがわかりアミノ酸組成の違いによっても考えられ非常に興味深い。強度及び微細構造の観察では組織状構造が認められなかった 130℃ 処理において、その泳動パターンも 140℃、150℃ とあまり大差がない。SDS、2-Mercaptoethanol に溶解するタンパク量は表 5 に示すように処理回数が増えるにしたがい減少し、電気泳動の結果と良く符合する。又、130℃、140℃、150℃ 各温度間にやはり大きな差は認められない。したがって、引張り破断強度、繊維性、方向性の観点で便宜上定義した「組織化」は既に溶融、反応したタンパクが熱可塑性樹脂のように十分な熱を得て流動性を確保し、特定の方向に配列した結果に他ならないと言える。

高温処理の繰返しのため、DSF 内アミノ酸の損失が十分に考えられるが、150℃、3 回処理でも熱に不安定なアミノ酸 Cys を除いては特に損失が認められなかった。210℃、水分 15% という条件でもシステイン、アルギニンの損失がやや認められる野口らの報告<sup>43)</sup> と比較して中性付近、高水分、より低温処理という条件が各アミノ酸の損失につながらなかったものと予想される。150℃、3 回処理での強度低下とかっ変現象はしたがってアミノ酸損失のレベルに原因があるのではなく、やはりタンパク分子レベルでの切断、または崩壊及び含有多糖類の変質に他ならない。



注) デンシトメーターによるタンパク質の分子量の変化  
 -タンパク質の抽出はリン酸緩衝液 (pH 7: SDS 1%、2-Mercaptoethanol 1%含有) にて室温で18時間攪拌ご、遠心分離で上澄を分離した

図 25 押し物のタンパク変化 - SDS 電気泳動による -

表5 押出し物の可溶性タンパク質の変化\*

(単位 %)

処理回数	処理温度 (バレル設定最高温度)		
	130℃	140℃	150℃
1回目	67.4	67.1	64.5
2回目	46.6	60.1	58.9
3回目	56.2	45.8	55.8
未処理	75.8		

\* pH7のリン酸緩衝液(0.2M:1%SDS,1%2-Mercaptoethanol含有)20℃18時間で溶解させたタンパク質量の全タンパク質に対する割合。溶解タンパク量はケルダール法にて測定。

以上のように2軸エクストルーダーを用いてDSFの繰返し押出しを行い、得られた生成物の強度、微細構造、タンパク変化を検討した結果は下記のとおりである。

- ア) 130℃処理では繰返し処理による加熱時間(反応時間)延長でも、十分な「組織化」は認められない。したがって、「組織化」に必要な第1要因は処理温度であると考えられ、その下限温度が140℃付近にあると思われる。
- イ) 繰返し処理に伴う140℃の状態での組織化の促進、150℃における強度低下より、反応時間が「組織化」における第2要因であると考えられる。
- ウ) 繰返し押出しでもほぼ同様の繊維状構造を持つ押出し物が得られたことから、大豆タンパクの熱可塑性が示唆され、この性質を利用することでプラスチック分野で多用されている射出成形技術の考えを導入し、より大型で複雑な生成物が期待できる。
- エ) 繰返し押出しに伴う熱処理時間延長にもかかわらずアミノ酸の損失はほとんどない。

特にウ)の事実から、射出成形法の開発を行った。これは2.3において述べる。

## 2. 3 タンパクの射出成形物の製造

2. 2ではエクストルーダー処理を、脱脂大豆粉に繰返し行ない、140～150℃の温度域において、脱脂大豆粉は熱可塑性樹脂に似た性質を示すこと、既に反応・溶融したタンパクが再び溶融し、組織化することを報告した。

この脱脂大豆粉の熱可塑性に着目して押し出し成形よりも生成物の形状、サイズ、組成の自由度が高く利用範囲が広いと思われる射出成形を試み、その有効性を検討した。その結果、特殊金型を用いた射出成形の可能性と繊維状組織化の成因について興味ある知見を得た。

### (1) 実験方法

#### I. 実験材料

2. 2と同様、日清製油の醸造用脱脂大豆粉を使用し、水分、粗タンパク質及びNSI（窒素溶解指数）の実測値は、それぞれ9.7%、49.8%、35.5であった。

#### II. 実験装置

2. 2で述べた三菱重工（株）食品加工用2軸エクストルーダー（FT-60）及び試作した金型を用いた。

次に射出成形用金型について説明する。

この装置の開発には、2. 2. 2で述べた脱脂大豆粉は熱可塑性樹脂に似た性質を示すこと、既に反応・溶融したタンパクが再び溶融し、組織化するに基づいている。

この脱脂大豆粉の熱可塑性に着目して押し出し成形よりも生成物の形状、サイズ、組成の自由度が高く利用範囲が広いと思われる射出成形を試みるために、装置を開発した。

射出成形の定義はプラスチック分野では、「加熱して流動状態にしたプラスチック材料を、閉じた金型空洞部に充填して相当する成形品を作る方法」とある。そして加熱し流動状態にする機械の一つがエクストルーダーである。それを食品分野にあてはめると従来から行なわれている製造法は押し出し成形法となり、エクストルーダー後に金型を接続し、その型の食品成形物を得る方法が食品射

出成形となる。

しかし、プラスチック分野の一般的な射出成形法では、金型の直前に溶融したポリマーを溜めるシリンダーを設け、射出シリンダーにより金型内に文字通り射出する方法がとられている。本報の方法はエクストルーダーのスクリー回転により徐々に原料を死空間を持たない金型に充填するというもので、図26に示したプラスチック分野の流動成形法(フローモールドィング又はイントルージョン)により近い方法といえる<sup>44)</sup>。

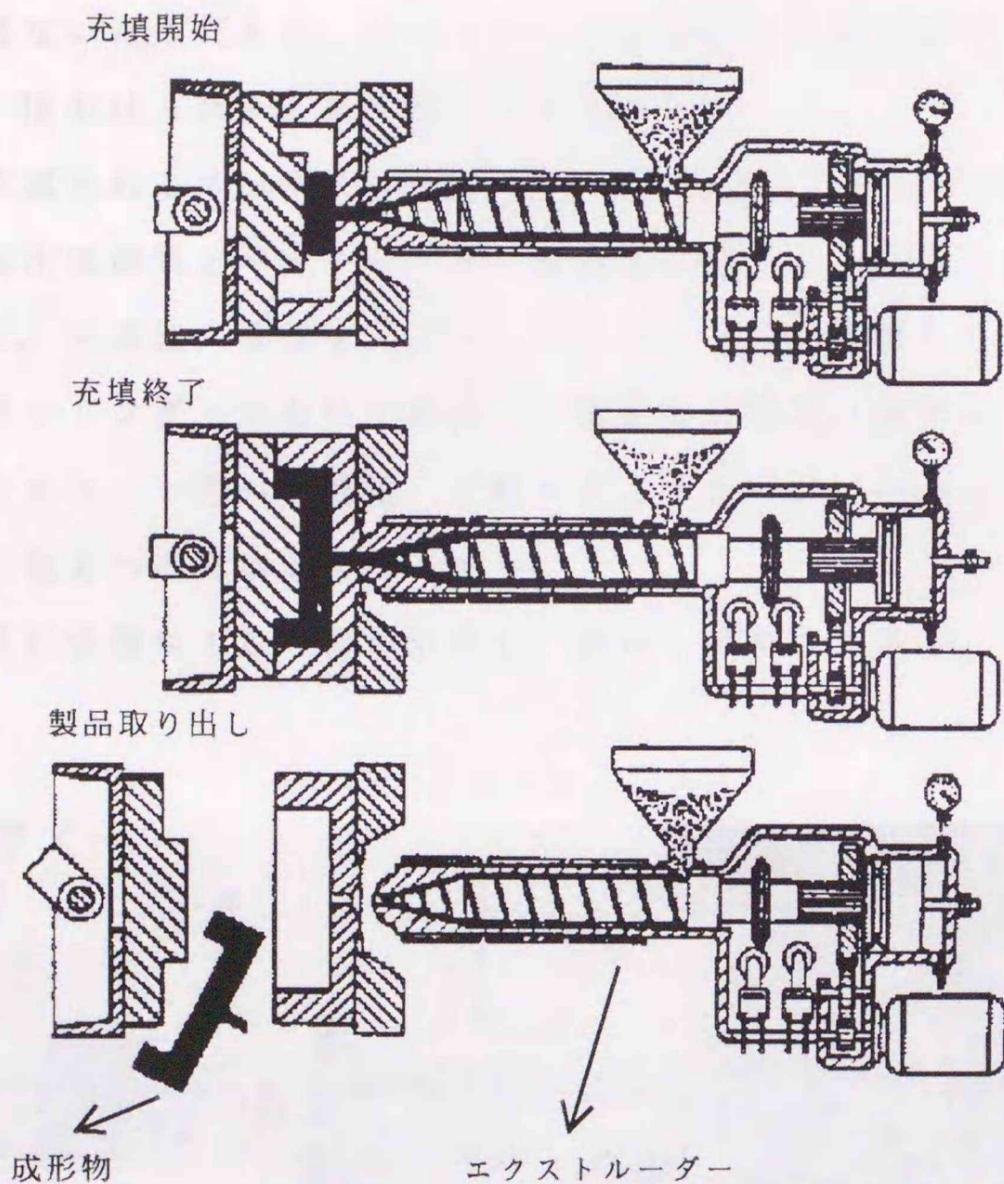


図26 フローモールドィング成形

この方法はプラスチック分野では厚肉成形品の製造に用いられ、本研究の目的の一つが、従来の押し出し成形では得ることのできなかつた大型素材の製造であることと一致している。したがってここで述べる方法は、一般的な射出成形

法とはやや異なるかも知れないが、広義の「射出成形法」と呼ぶことにする。

写真8に試作金型装置を、図27に試作した金型の概略と作業手順を示す。金型はエクストルーダーの先端にクランプを介して接続される。原料の流れはエクストルーダー内部より、そのままスクリュウ軸方向に進み、金型内に充填される。その際、金型内には、油圧シリンダー（ストローク長 25cm）のピストンが先頭部に位置しており、エクストルーダー方向に定圧で押しつけられているため、この圧力をエクストルーダーの押し出し圧力が超したところで、原料は初めて金型内に充填される。これは、成形物の先頭部等にデッドエアや気泡を生じさせないためである。シリンダーへの加圧は下部の油圧ポンプによっておこなれ、圧力は8MPaまで発生できる。

成形物の充填されるスペースは直径5cm×長さ25cmの円筒状であり、側面部は冷却水循環路とバンドヒーターを設置してあり、加熱冷却による温度調節が出来る。充填後、金型をエクストルーダーから切り離して成形物を冷却した後、油圧シリンダーにおいて押し出し、成形物を得る。金型は2個並列に装置に設置してあり、一方へ充填後、2軸エクストルーダーからの流路を切り替えることで、他方への充填が可能である。

この射出成形装置はIKG社に依頼し、試作したものである。

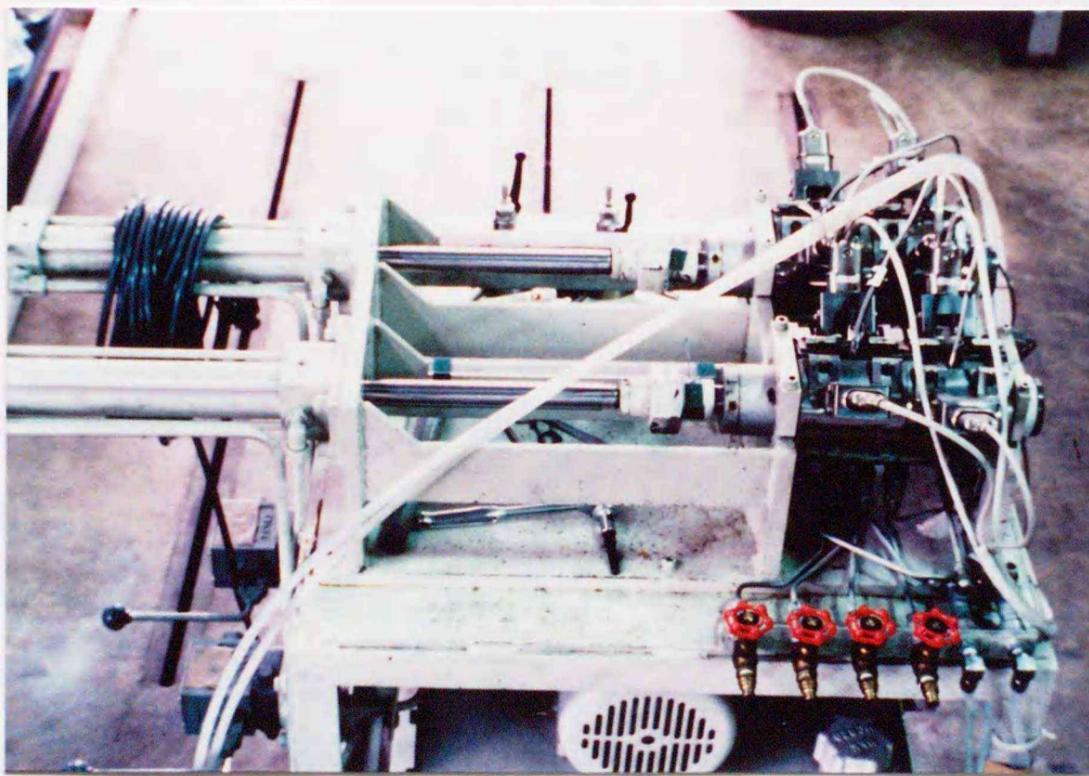
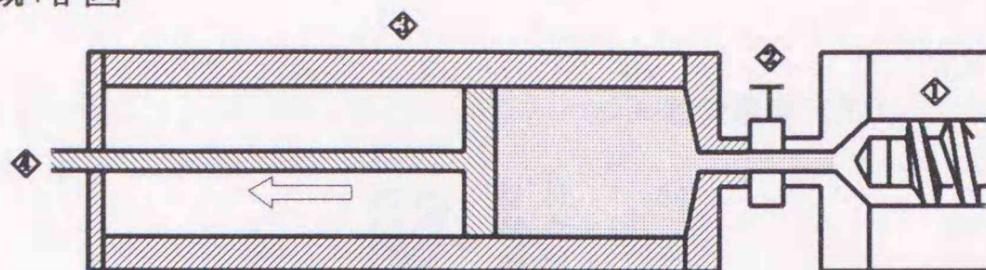


写真8 試作射出成形用金型

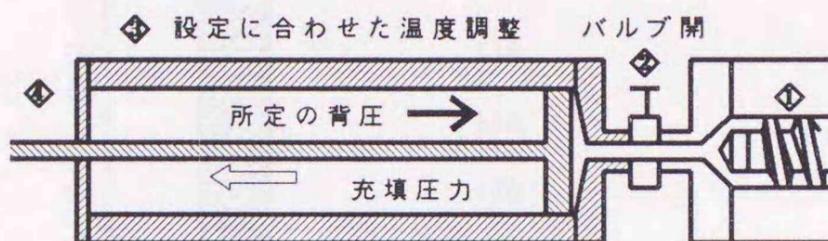
### 金型概略図



- ◆ 2軸エクストルーダー ◆ 金型（温度調節付き）
- ◆ 切り替えバルブ ◆ ピストン（油圧ポンプ 8MPa）

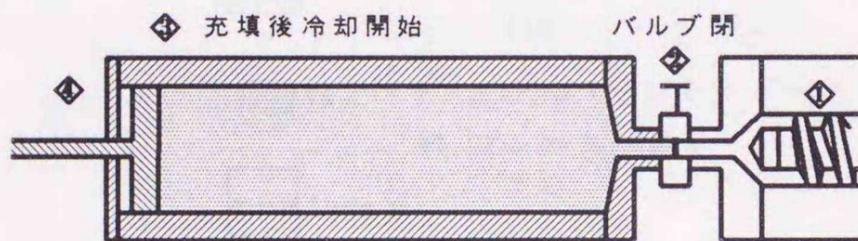
### 充填手順

#### (1) 充填開始



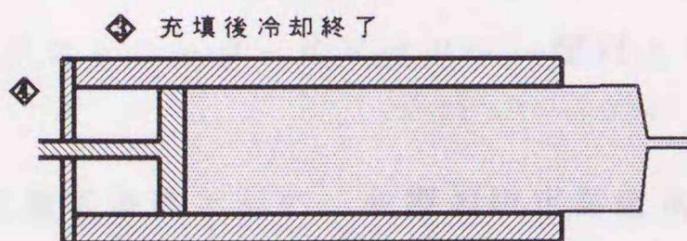
バルブ開により、背圧を充填圧力が上回った時点で材料は金型へ充填

#### (2) 充填終了



所定位置まで材料充填後、バルブ閉で金型の冷却開始

#### (3) 取り出し



成形物の十分な冷却を確認後、アダプターを取り、ピストンで成形物を押し出す

図 2 7 射出成形用金型の概略と作業手順

### III. 運転条件

装置の運転条件は実験の継続性を重視し、2. 2. 2の繰返し押し出し実験と同様にした。図 2 8 にスクリュー配列及びバレル温度分布を示す。スクリュー回転数は 30 ~ 120 rpm とし、供給量 20 kg/hr、原料調整水分 60% とした。

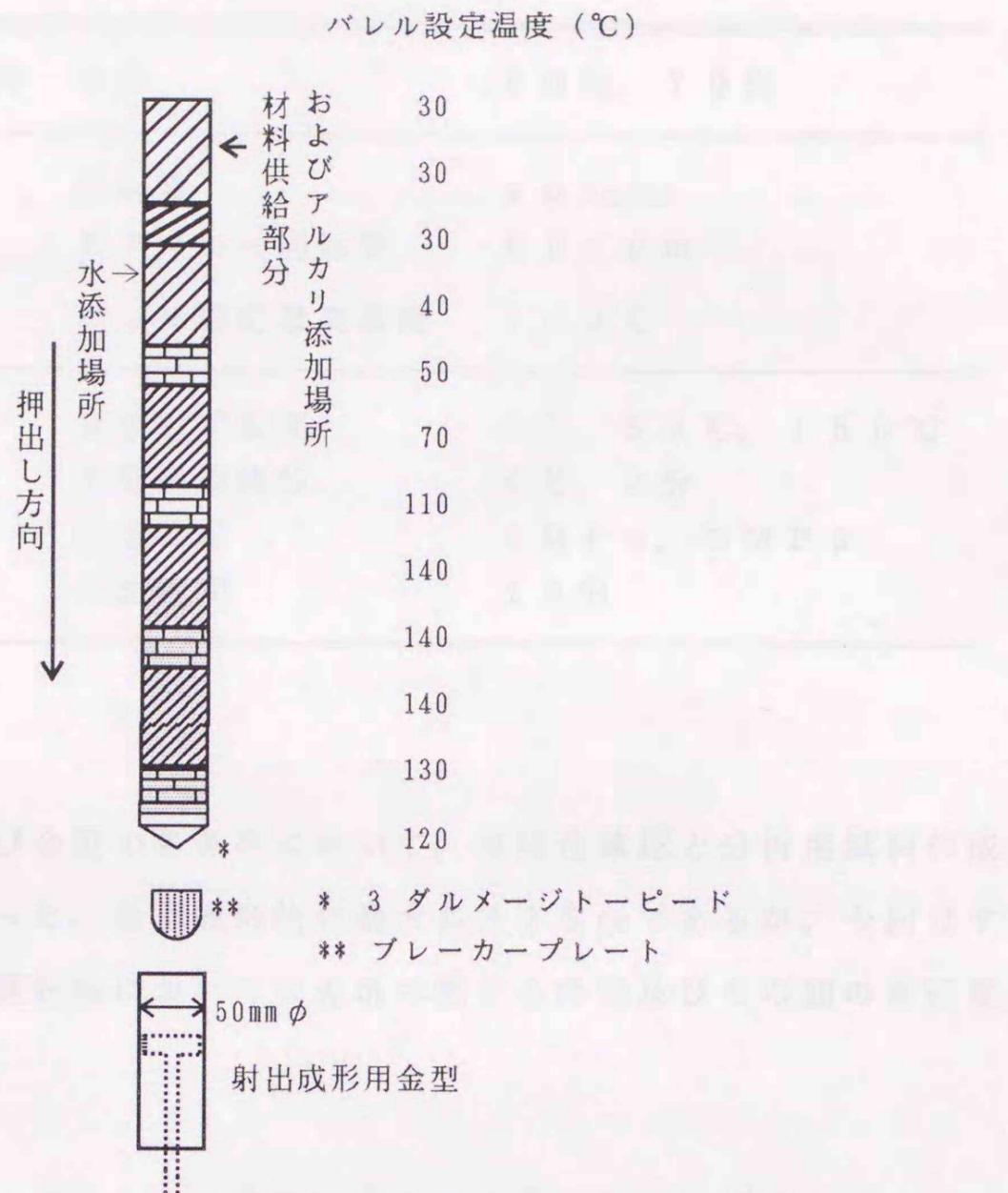


図 2 8 2 軸エクストルーダーのスクリュウ配列とバレル温度設定

金型については主な運転条件として、金型の設定温度及び充填後その温度を保持する時間、さらには冷却時間が考えられる。また、油圧シリンダーによって押しつける力（以後、背圧と呼ぶ）も調整することができ、これも条件と1つとした。これらの条件については、表6に示す設定とした。参考までにエクストルーダー側の条件も併せて示す。

表6 2軸エクストルーダー及び射出成形金型の運転条件

原料 (D S F) 条件	水分	60%, 70%
2軸エクスト ルーダー条件	供給量	20 kg/hr
	スクリー回転数	60 rpm
	バレル設定最高温度	140 °C
金型条件	金型設定温度	0 °C, 50 °C, 150 °C
	温度保持時間	0分, 2分
	設定背圧	1 MPa, 3 MPa
	冷却時間	10分

#### IV. 試料の調整

エクストルーダー及び金型の各条件において、再現性確認と分析用試料作成のため3回運転を行なった。金型成形物の最大長は25 cmであるが、今回はすべて20 cmとした。運転時においては充填に要する時間及びその間の背圧変化を記録した。

#### V. 試料の分析

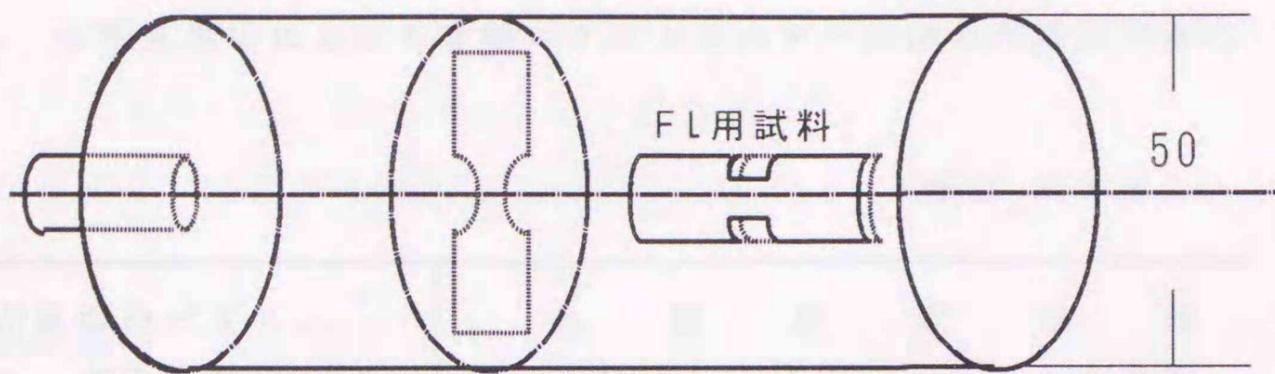
成形物は実験によって得られた直後に真空包装し、分析に供するまで低温貯蔵(3 °C)した。

##### 1. 密度の測定

フィルム内の試料をそのまま重量測定した後、メスシリンダー中に投入し増加した水量にて体積を測定し、密度を求めた。また、試料の各部位の変化を調べるため、充填方向にたいし垂直に4部位に分割し同様に密度を求めた。なお、体積割合からみてフィルムの影響は無視しえるとした。

##### 2. 破断強度の測定

各試料より側面及び横断面の各4部位の強度試験用試料をとり、それぞれをレオメーター(不動工業NRM-3002D)にて引張り強度を概ね5回以上測定し、平均値を求めて破断強度とした。図29に強度測定用の試料作成法を示す。



Fv用試料

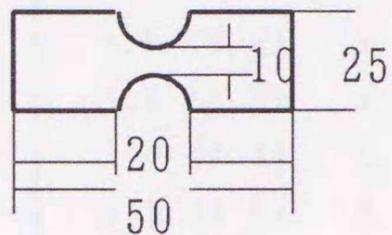


図 29 成形物の破断強度測定試料

### 3. 微細構造の観察

微細構造は 2. 2 と同様、走査型電子顕微鏡 (SEM) および、光学顕微鏡を用いた組織化学的手法で観察した。

### 4. SDS電気泳動

各試料を凍結乾燥後粉碎し、1% SDS、1% 2-Mercaptoethanol 含有リン酸緩衝液 (0.2 M, pH 7) にて常温 1 昼夜攪反後、遠心分離 (4800 × g、20°C、5 分) し、上澄液を試料とした。ポリアクリルアミドゲル濃度は 7.5% である。

## (2) 実験結果及び考察

### I. 金型充填時間と圧力について

表 7 に各条件におけるエクストルーダー先端の圧力を表 8 に充填所要時間を示す。いずれの条件も背圧 1 Mpa の場合であるが、エクストルーダー先端の圧力が 1 Mpa を超えた値で充填が始まり、充填半ばにその圧力は最大となり、充填終了直前は若干圧力が下がる傾向が認められた。充填所要時間も、各条件間で有為な差は認められなかったが、所要時間の内容から見ると充填開始後、0 ~ 5 cm までのシリンダー移動所要時間が最も大きかった。これは、エクス

表7 金型充填中における2軸エクストルーダー内部の先端圧力変化

(単位 MPa)

充填中のピストン ヘッドの位置*	金 型 設 定 温 度		
	0 °C	5 0 °C	1 5 0 °C
0 c m (バルブ切り替え時) (ピストン移動開始時)	3 回平均 (標準偏差)		
	1.0 (0.2)	1.6 (0.2)	1.1 (0.1)
5 c m	1.4 (0.6)	1.8 (0.3)	1.5 (0.2)
1 0 c m	1.7 (0.3)	2.2 (0.1)	1.8 (0.4)
1 5 c m	1.7 (0.2)	2.1 (0.1)	1.7 (0.3)
2 0 c m	1.7 (0.2)	2.1 (0.1)	1.7 (0.3)
	1.8 (0.2)	2.1 (0.0)	1.7 (0.2)

\* 金型の入り口からの充填中後退しているピストンヘッドまでの距離

表8 金型充填中における充填に要する時間\*

(単位 秒)

充填時のピストンヘッド の位置	金 型 設 定 温 度		
	0 °C	5 0 °C	1 5 0 °C
ピストン移動開始時間**	3 回平均 (標準偏差)		
0 ~ 5 c m	10.6 (1.2)	5.7 (1.2)	11.7 (7.6)
5 ~ 1 0 c m	31.7 (14.4)	34.3 (3.5)	35.3 (6.4)
1 0 ~ 1 5 c m	24.3 (4.0)	25.0 (2.6)	24.0 (6.6)
1 5 ~ 2 0 c m	23.3 (2.9)	22.7 (1.2)	21.3 (2.3)
	23.0 (3.0)	21.7 (1.5)	20.0 (1.0)

\* 材料の充填に伴って後退するピストンヘッドの位置から充填開始時より材料が5 c m毎に充填されるのに要した時間を求めたもの

\*\* バルブを切り替えて金型のピストンヘッドが実際に材料の充填によって後退し始めるまでの時間

ルーダー内の材料圧力が金型の背圧にまで達するために要する材料蓄積時間であると考えられる。これは別の見方をすれば、背圧によってエクストルーダー内材料分布が制御できる可能性を示唆している。

## II. 射出成形物の構造について

各条件において安定した状態で試料を得ることができた。エクストルーダーのスクリー回転の影響は後述し、金型の諸条件に検討を加えた。背圧の条件においては2つの条件(1 MPa、3 MPa)間にほとんど成形物の差が認められなかったため、その他の条件変化について述べる。写真9～11に各金型温度における試料を示す。試料は充填方向に添って2分割し、内面を下部に、各部分の横断面を上部に示している。写真9は金型温度 0℃のものであり、この場合、冷却温度も0℃であるため、温度保持時間は設定していない。内面の構造は原料の移動速度分布に基づくと考えられるドーム状の流線が認められる。また、側面部においては金型表面とのずれ、ひきつれ(剪断)によって生じると考えられる充填方向に伸びる繊維性の構造が観察された。

写真10は50℃のものである。0℃と同様な構造であったが、中央部においては0℃と異なり、若干の多孔構造が認められた。温度保持時間における差はあまり認められなかった。写真11は同様に150℃のものである。0℃、50℃にくらべて色が濃くなり、多孔質部が全体にわたって認められ、ドーム状の流線と側面部での繊維状構造も認められたが、50℃の場合ほど顕著なものではなかった。金型ピストンヘッドの圧力は1 MPaで、この条件では150℃といえども水蒸気圧は0.485 MPaであり設定背圧より低いことから、原料水分の気化が多孔質の成因とは考えにくい。エクストルーダー処理温度と金型温度の温度差が無い結果的に反応時間の延長となり、材料成分の一部が分解してガス化したためと考えられる。構造については光学顕微鏡観察及びSEM観察によりさらに検討を加えた。

成形物内組織の構造についてまずタンパク質を染色する方法(CBB染色)で光学顕微鏡観察を行なった。

試料は、50℃処理2分保持の中心部を用いた。写真12は充填方向に平行な部位を側面(A部)から中心部(C部)の3点について観察したものであり、

図において青色の部分がタンパク部位に相当する。A部においては、充填方向に粗密な層状の構造が認められるが、B部では組織の方向は充填方向に対し垂直方向に向いており、また気泡の存在も認められ、C部になると方向性が失われ、また多孔質状の構造になってきており、肉眼で認められた構造と一致する。

写真13は充填方向に垂直方向（横断面）にやはり側面部（A部）から中心部（C部）の3点について観察したものである。組織構造の傾向は写真12と同様であり、このことから、金型の成形物は側面においてはリング状の層状構造が充填方向に伸び、方向性のない中央部は多孔質となっていると考えられる。

他の条件においても同様な観察を行ない、0℃でも同様な傾向が認められたが、150℃では、層状の繊維性はあまり認められず、いずれも肉眼観察の傾向と一致している。

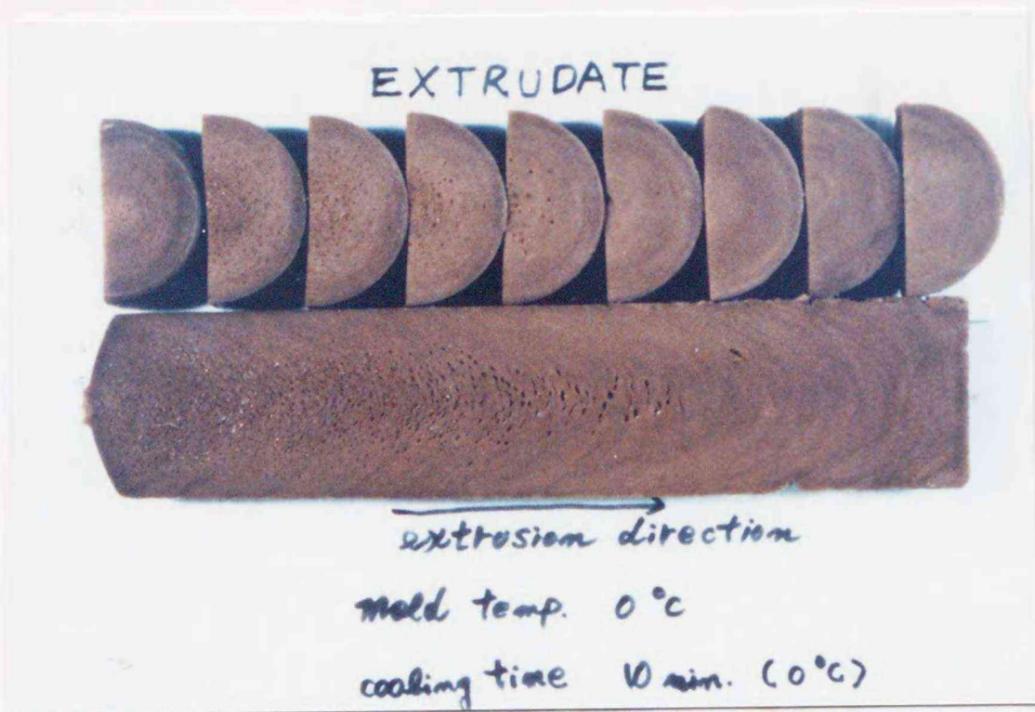


写真9 金型成形物 - 金型温度 0 °C -



写真10 金型成形物 - 金型温度 50 °C -

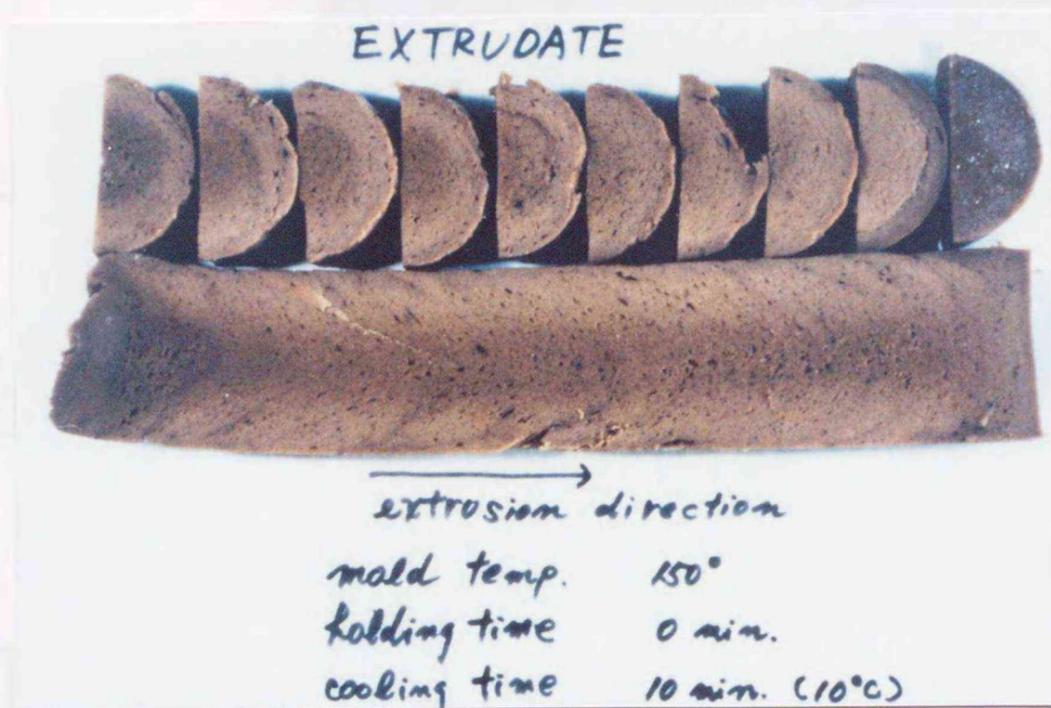
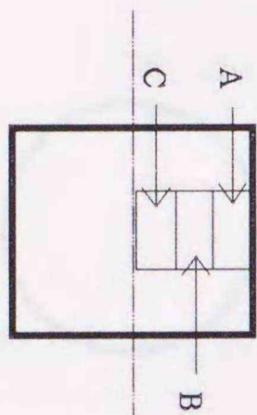
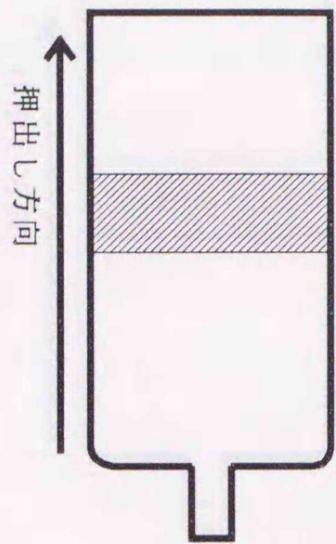
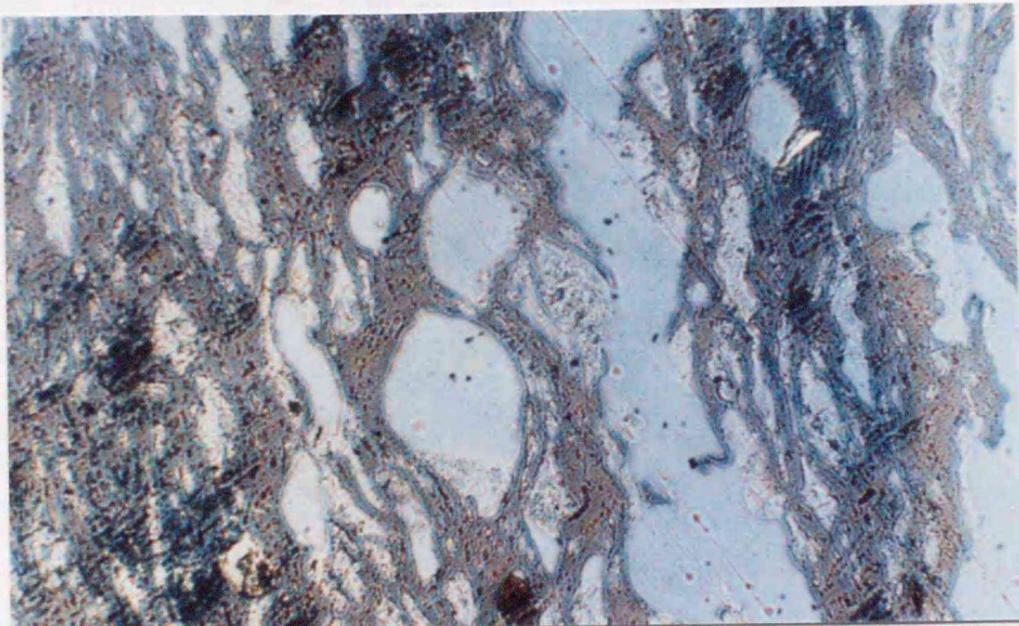


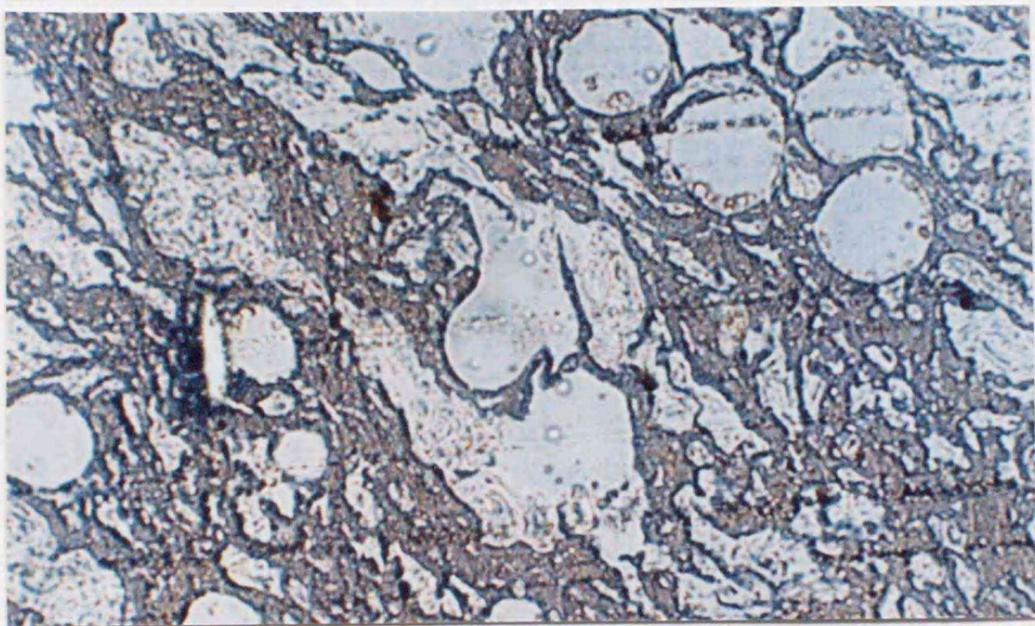
写真 1 1 金型成形物 - 金型温度 150 °C -



A



B



C

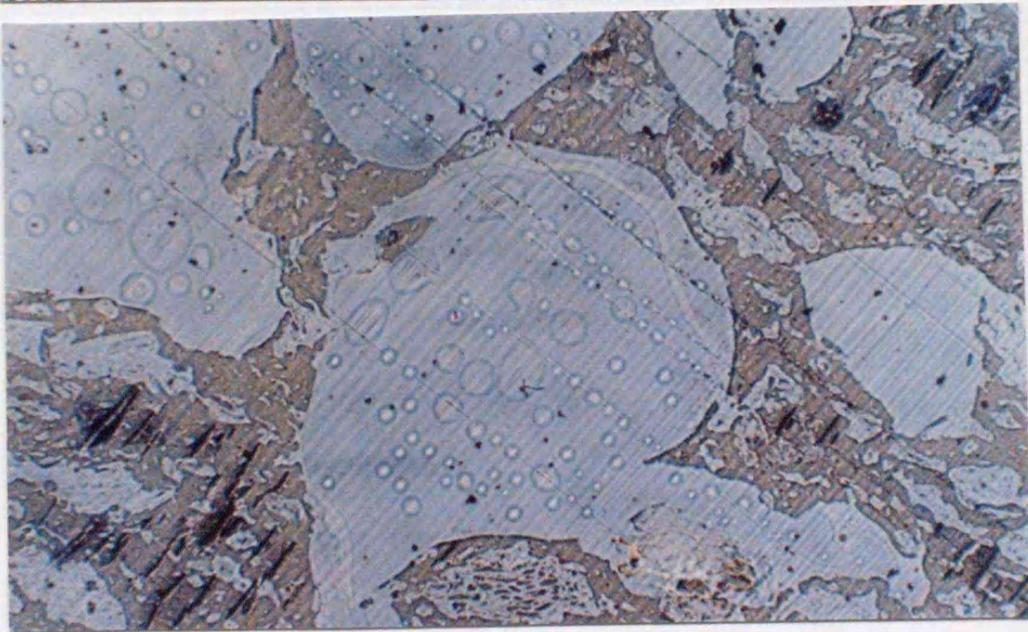
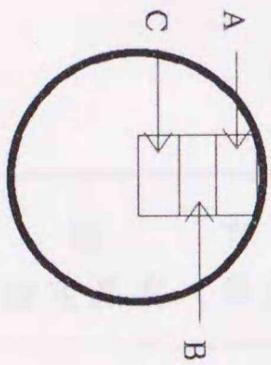
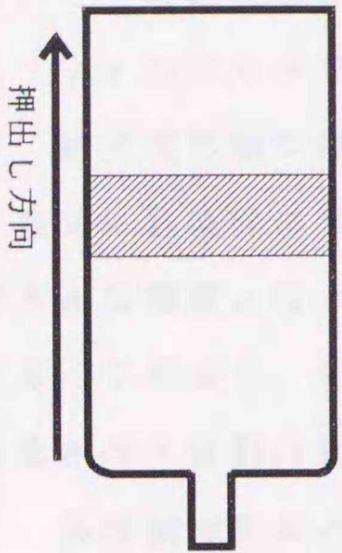
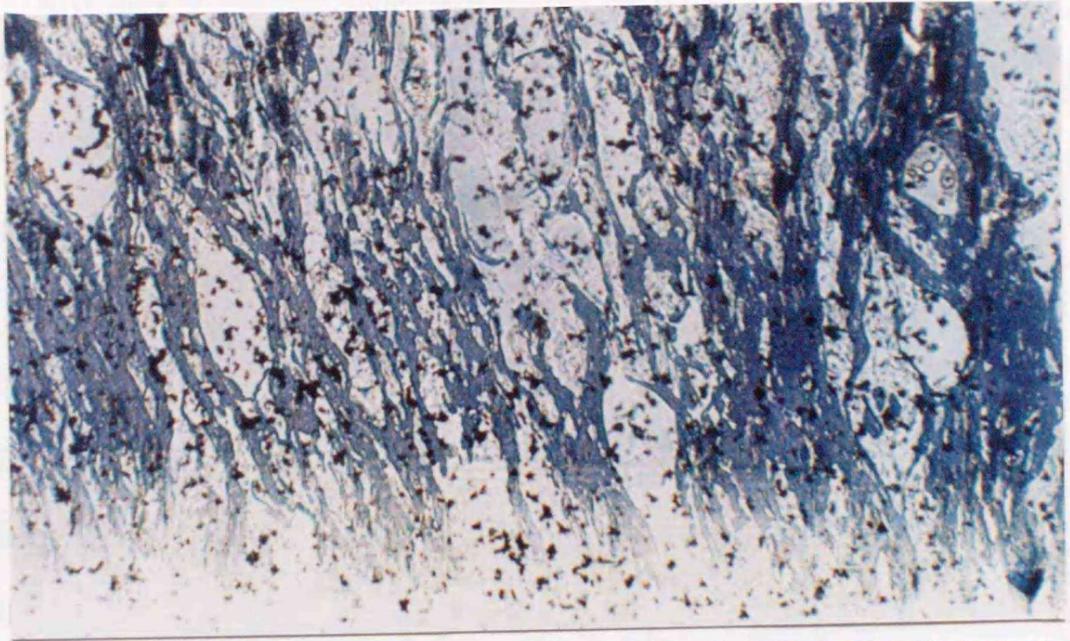


写真12 光学顕微鏡による金型成形物の微細構造 (C B B 染色)

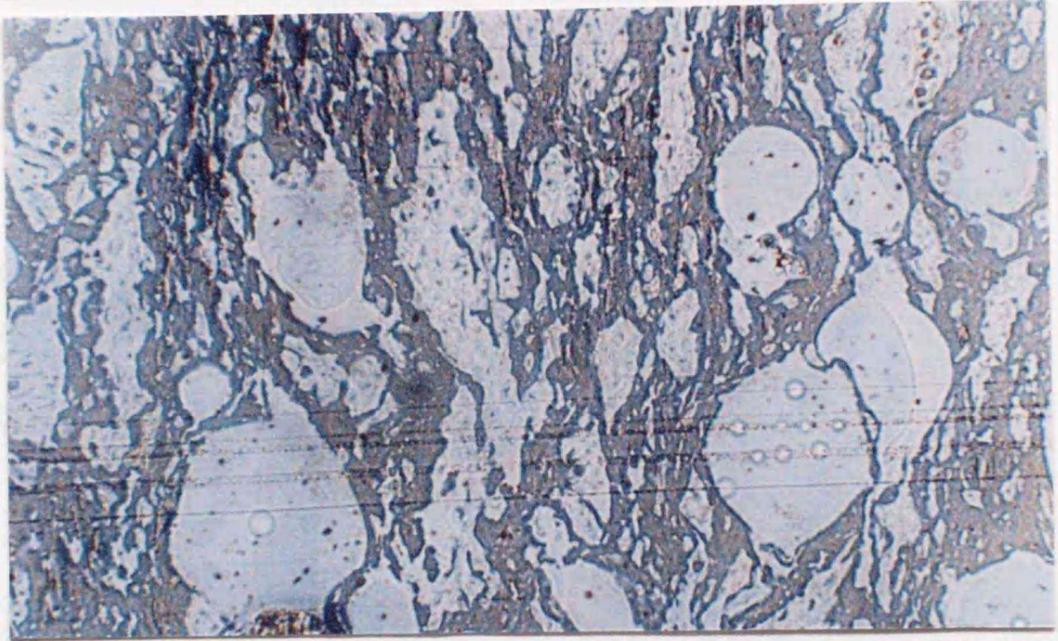
— 充填方向 —



A



B



C

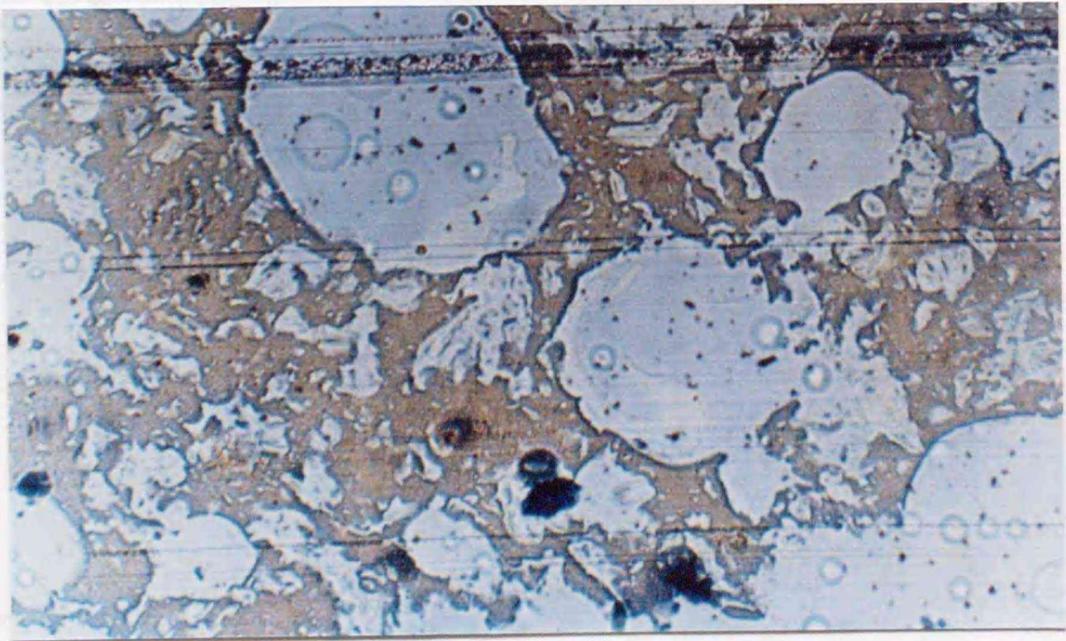


写真 1 3 光学顕微鏡による金型成形物の微細構造 (C B B 染色)

— 断面方向 —

SEM観察ではやはり0℃、50℃において、あまり差がなく150℃においては側面部の方向性や層状の繊維構造の中も大きく不鮮明なものであった。このような側面部と中心部での構造の相違は成形物の密度や強度に反映すると考えられる。

以上の結果で共通することは、繊維性は冷却時のある特定の粘弾性の状態で原料が剪断を受ければ生じてくることであり、従来の押出し成形用冷却ダイにおいて生成物全体に繊維性を付与することは、冷却ダイ長を大きくしてもダイスリットの厚みが大きくなるほど困難であるという事実と符合する。

### III. 射出成形物の密度と破断強度

表9に各条件における密度を示す。全体的な傾向としては先に充填した部位が大きな密度となっており、これは、金型内での温度変化によるものと考えられる。すなわち、先頭部はより早く冷却され緻密になるのにたいし、その後充填される材料は比較的長く高温状態を維持するものと思われる。

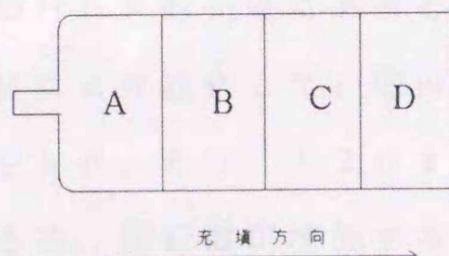
条件別で見ると、多孔質部分が最も顕著に認められる150℃のものが最小の密度を示した。

表9 金型成形物の密度

(単位 g/cm<sup>3</sup>)

処 理 方 法 金型設定温度 (保持時間)	成 形 物 の 部 位 *			
	A	B	C	D
0℃ (0分)	1.03	1.07	1.14	1.11
50℃ (0分)	1.05	1.13	1.15	1.22
	0.99	1.15	1.18	1.23
150℃ (0分)	0.92	0.94	1.03	1.03
	0.91	1.02	1.04	1.15

\* 試料の部位は下図に示すように設定しサンプリングを行った。



次に表10に各部位の破断強度について示す。条件は、150℃のものである。もっとも繊維性、方向性が見られないようなこの条件でも、充填方向の強度がそれに垂直な方向よりも大きくなる傾向がありその構造と一致する。

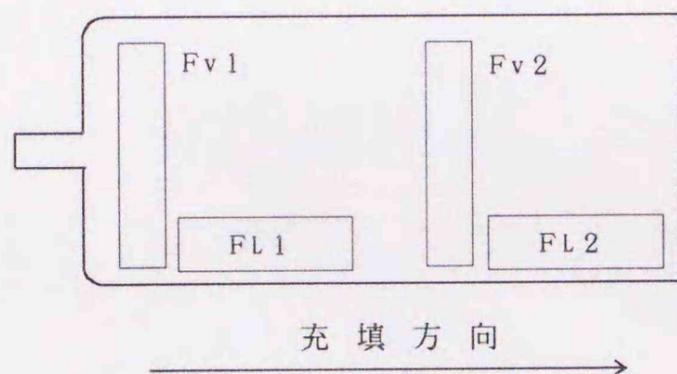
表10 金型成形物の引張り破断強度—充填方向と断面方向—

(単位 kg/cm<sup>2</sup>)

測定部位*	試料名	
	150℃(2分)	150℃(0分)
	3回平均(標準偏差)	
FL1	0.57(0.46)	0.59(-)**
FL2	0.52(0.11)	0.63(0.28)
Fv1	0.47(0.16)	0.51(0.20)
Fv2	1.43(0.79)	0.36(0.29)

\* 各試料の測定部位は下図に示す位置

\*\* 試料形状不良のため1点のみの測定



#### IV. スクリュー回転と射出成形物の構造

成形物の構造に見られる層状の構造が粗密構造をとっていることは先に述べたが、その要因が原料のパルスの充填にあると考え、スクリュー回転を変化させてその構造変化をSEMにより観察した。他の条件は50℃2分とした。写真14はスクリュー回転を30、60、120rpmとした場合の充填方向の側面部を観察したものである。回転数が増加するにつれてその層状構造は細か

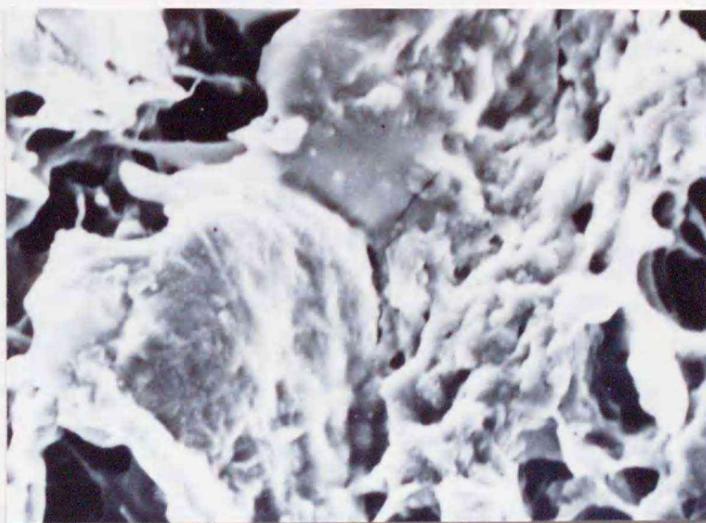
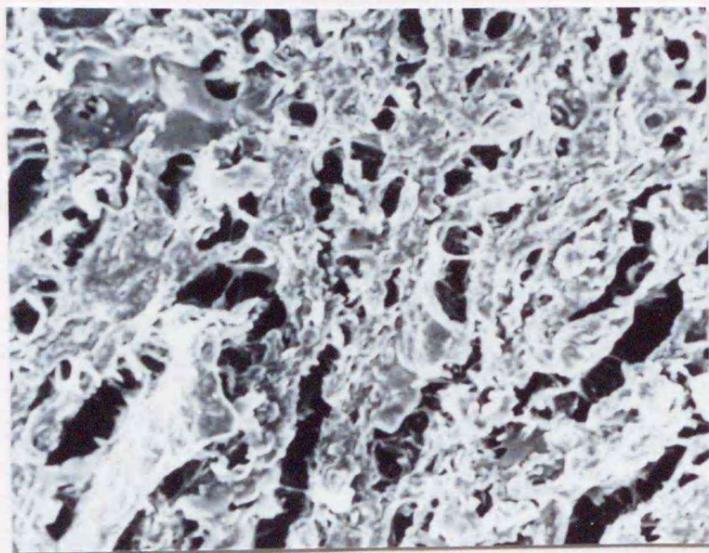
くなる傾向があるが、しかし、はっきりとした比例関係を認めにくい。

完全噛み合い同方向回転の2軸エクストルーダーの場合、よじれたC形でパルス状に材料が移送されることは、良く知られている<sup>46)</sup>。スクリー先端の3ダルメージトローピードにより、2つのスクリーから移送されたそれぞれのC形の材料は混合されブレーカープレートへと送られる。ブレーカープレートは直径45mm、長さ35mmの円筒状で直径2mmの20個の穴が流れ方向にあいている多穴構造を有しており、この中で熔融材料はみかけ上粗繊維状になり、さらにアダプターを通じて金型へと充填される。流れ方向に沿った20本の繊維状の押し出し物が金型に充填される際、流れ方向に対して全てが直角方向に方向転換するためとは考えにくい。さらに充填時のピストンヘッドの連続的なスムーズな動きは、原料がアダプター、金型内でスキップしている可能性を否定する。考えられる原因の一つは、原料がアダプター内の細管を通過する際の不定流、さらにはメルトフラクチャー発生であるが詳細は不明である。しかし、この粗密構造の成因についてはスクリーフィーダーによるパルス状の原料供給の影響も考えられ、現在も検討中である。

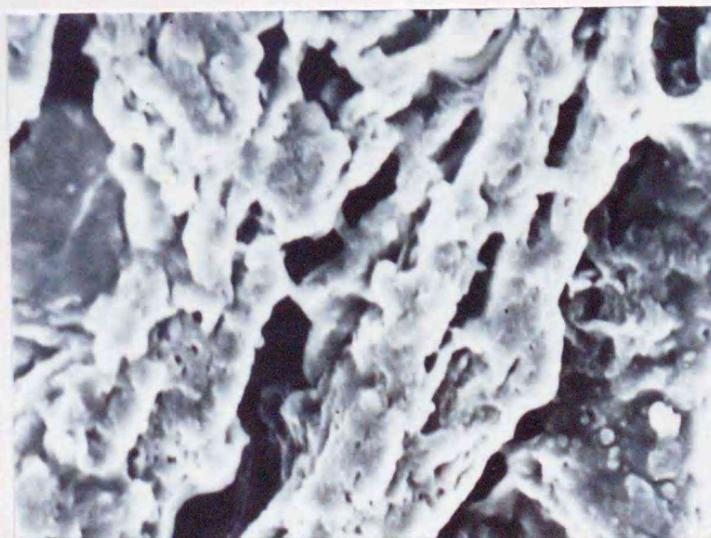
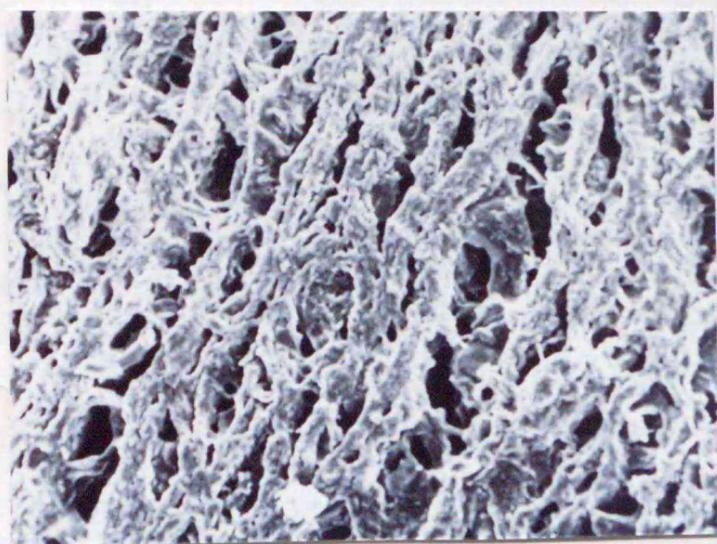
スクリー回転数

(rpm)

30 rpm



60 rpm



120 rpm

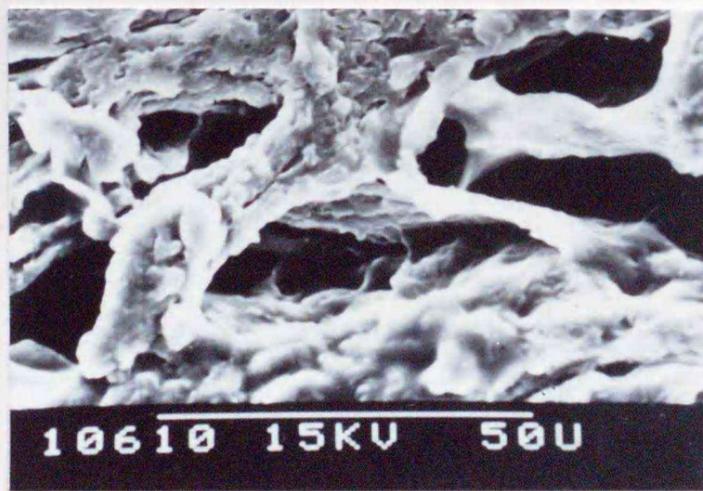
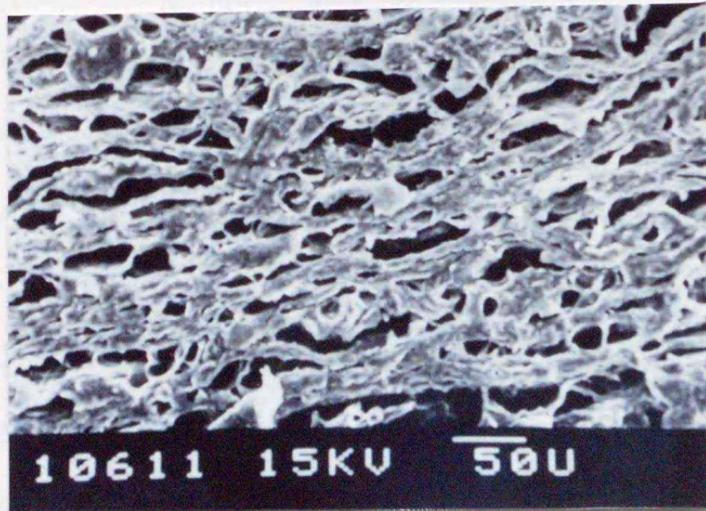
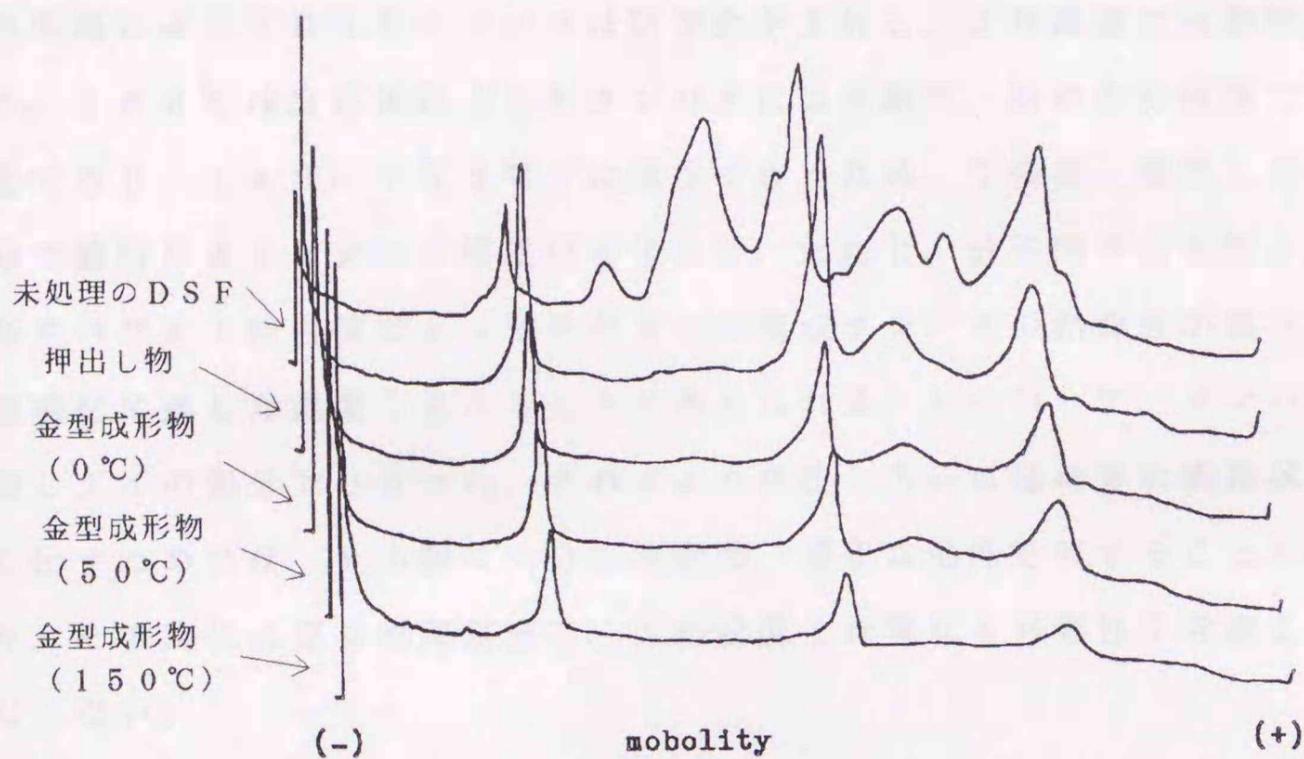


写真14 金型成形物の構造—断面方向—(SEM)

—2軸エクストルーダーのスクリー回転による影響—

## V. 射出成形物のタンパク質変化

原料の D S F タンパク質が射出成形においてどのように変化するか興味深く S D S 電気泳動のパターン変化からそれを検討した。図 3 0 に未処理の D S F、押し出し物、さらに各条件の射出成形物可溶画分のそれぞれの泳動パターンを示す。各条件の成形物可溶画分デントグラムは特定ピーク及び全体の S D S - 2 - Mercaptoethanol 可溶性成分の減少が認められ、反応度合がタンパク各画分で異なることを見出した。特に金型温度 1 5 0 ° C の場合、減少は著しく、充填に伴う高温処理時間の延長によって反応・不溶化がより進行していたことを示唆している。



注) タンパク質の抽出は 2 . 2 . 2 と同条件

図 3 0 金型成形物のタンパク質変化— S D S 電気泳動による—

## VI. 反応と組織化

成形物の構造評価に組織化の有無を用いている。繊維状組織化の場合、押し出し方向とそれの直交する断面方向の引張り強度の比を持って評価した。射出成形物の場合、中央部は方向性のない多孔質構造であり、繊維状組織化の評価としては非常に低い。しかし、D S F のタンパク質は押し出し成形の場合より反応しさらに不溶化しており十分な反応が行なわれていると考える。したがって、エ

エクストルーダーで処理された素材の評価は微細構造に由来する組織化の強弱と反応によるタンパク質自体の変化にそれぞれ区別して行なわなければならない。

2. 2において示差熱走査熱量計(DSC)測定の結果により125.6℃の吸熱ピークを持つDSFが、130, 140, 150℃いずれの場合も押し出し回数に応じてSDS-2 Mercaptoethanol可溶画分が同程度減少すること、130℃では引張り強度が140, 150℃より低い値を示すことを報告した。

今回の結果と合わせて、エクストルーダー内では次の変化が生じていると推測される。すなわち、ほとんど水に不溶性のDSFタンパクは130℃付近で熔融し、固相から液相への相変化を行うと共にお互いに反応して架橋する。この架橋によってDSFタンパクは粘弾性が上昇し、より高温で流動性が回復する。130℃は反応後のDSFタンパクには流動性、粘弾性が確保できない温度であり、140, 150℃では確保できるため、その後、変形しつつダイ部分で剪断によるマクロの組織化が生じる。ただし、分子内や分子間-s-s結合やペプチド結合等によってそれぞれの構成タンパクの粘弾性が異なるならば組織化に適した温度も異なることが考えられる。したがって、タンパク質が熔融しダイの部分でひきつれ、ずれにより押し出し方向に延伸され繊維状組織を作り出すためには、その際に十分な流動性、適正な粘度を有することが必要であり、その為に必要な処理温度は、反応温度とは異なる必要性を考慮しなければならない。

射出成形の利点の1つはエクストルーダーの処理能力によらず大型のしかも自由な形状の製品が可能になることである。今回は大豆タンパクを用いたが他の植物蛋白あるいは屑肉、小魚等を利用することにより新しいタンパク素材の可能性もあり、次にブナザケで検討を行った。

以上のように2軸エクストルーダーと射出成形用金型によって脱脂大豆粉の射出成形を試み、以下の結果を得た。

ア) 金型の形状に充填・組織化した成形物を得た。金型温度0, 50℃においては成形物側面部に充填方向に走る繊維性の層状構造が認められ、中央部においては多孔質構造であった。150℃においては側面部の繊維性構造は顕著ではなく、多孔質構造が全体に認められた。

イ) 繊維性構造の成因は充填時の金型温度、冷却速度及び材料移動速度に影響

される金型壁面との剪断であると考えられる。

ウ) 従来の押し出し成形における繊維性発現も同様なメカニズムと考えられ、全体に繊維性を有する構造の押し出し物を得るにはその厚みに限界が有ると考えられる。

エ) SDS電気泳動より各タンパク質画分の反応度合が異なり、金型の温度が高温であるほど可溶成分の減少が著しい。

2. 4 においては大豆などの植物タンパク加工と共に高水分加工によって新たな素材開発が期待される魚肉における2軸エクストルーダー処理による組織化の検討をブナザケ身肉を対象として行った結果を述べる。

#### 1) 実験方法

##### 1. 実験材料

ブナザケは宮城県産の新鮮な魚肉を、約10%の氷で凍結し、これを真空包装して、-20℃で保存した。凍結した魚肉を、凍結解凍後、すりつぶし、ふるいを通し、ふるい目径0.1mmのふるいでふるった。ふるった魚肉を、凍結解凍後、すりつぶし、ふるいを通し、ふるい目径0.1mmのふるいでふるった。ふるった魚肉を、凍結解凍後、すりつぶし、ふるいを通し、ふるい目径0.1mmのふるいでふるった。

##### 2. 実験装置

2.1. 実験装置として、2軸エクストルーダーを用いた。エクストルーダーは、2軸エクストルーダーを用いた。エクストルーダーは、2軸エクストルーダーを用いた。

##### 3. 実験条件

3.1. 実験条件として、2軸エクストルーダーを用いた。エクストルーダーは、2軸エクストルーダーを用いた。エクストルーダーは、2軸エクストルーダーを用いた。

## 2. 4 ブナザケの組織化物の製造

ブナザケとは秋に北海道及び東北地方の沿岸や河川で捕獲されるサケの中で、成熟が進んで婚姻色が発現し、体形の変化とともに肉色・体成分組成が変化しており、その結果、味や肉質の低下を招いて市場価値の低下したサケの俗称である。

沿岸ふ化事業の進展によりサケ漁獲量が増加し、それに伴い、品質的に劣るブナザケの問題が深刻化し、その有効利用法の開発が強く求められており、いくつかの試みがなされている<sup>46-48)</sup>。ブナザケ筋肉中の高度不飽和脂肪酸が通常のサケに比べて増加していること、さらにエクストルーダー処理後もその傾向が維持されていることも確認されており<sup>49)</sup>、これらの特徴を生かして組織化物を製造することでブナザケの高付加価値化が図れると予想される。したがって本検討は2. 3までの大豆での高水分組織化製造と同様に魚肉での高水分組織化の製造が可能かどうか、さらにその組織化の形成に差異がないかどうか等の知見を得ることに加えてブナザケの新規の利用法を開発することで、付加価値を高めることを併せて目的としている。

### (1) 実験方法

#### I. 実験材料

ブナザケは宮城県宮古湾漁協より沿岸定置網で捕獲された最低級付けされたブナザケをフィレ（皮剥き身肉ブロックの形状）で購入した。添加した小麦粉は日清製粉製バイオレット（粗タンパク7.1%）、脱脂大豆粉は日清製油社製醸造用脱脂大豆粉（FT：水分10%、粗タンパク質50%、NSI35）を用いた。

#### II. 実験装置

2. 2及び2. 3で用いた2軸エクストルーダー、さらには射出成形用金型を用いた。

#### III. 運転条件

図31に冷却ダイ使用時及び金型使用時の2軸エクストルーダーのスクリー構成及びバレルの設定処理温度パターンを示す。

スクリー回転数は180rpmとし、供給量は10kg/hr及び原料最終水分

は60%とした。主原料はブナザケを用い、副材料として小麦粉及び脱脂大豆粉を使用した。

小麦粉や脱脂大豆を添加する場合、所定量をブナザケフレークに混入し攪拌後、2軸エクストルーダーに供給した。さらに水分調整は原料とは別途ロータリーポンプにて2軸エクストルーダー内に供給して行った。

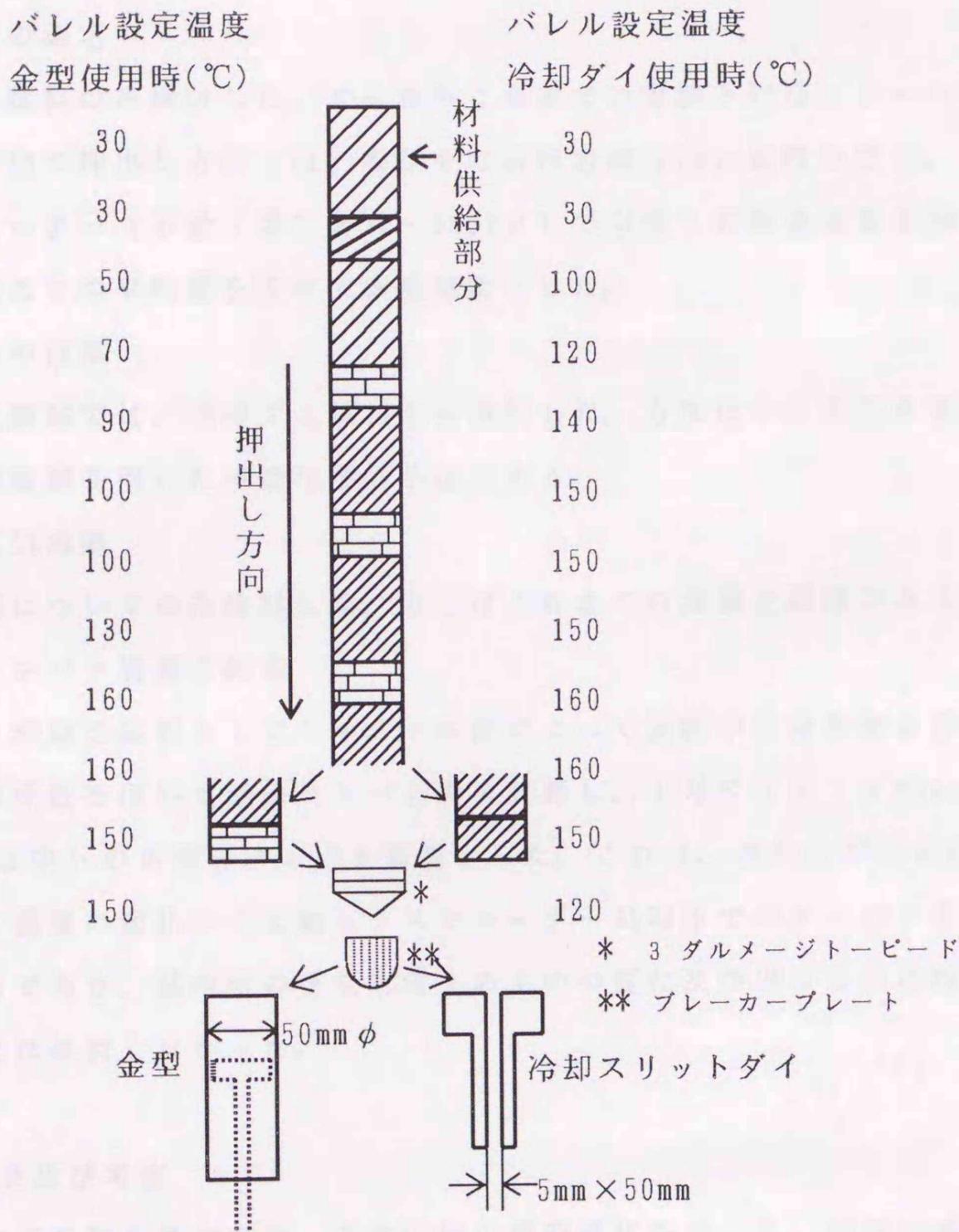


図31 ブナザケの2軸エクストルーダー処理の実験時の  
スクリュー配列のバレルの温度設定値

#### IV. 試料調整

材料のブナザケフィレを均一化及び水分調整を容易にするための低水分化を

ホットニーダー処理（100ℓ：八重洲食機製作所製：100℃10分間の煮沸）で行った後、1軸スクリュープレス（Posiva社製）にて脱汁を行い、水分55%のフレーク状とした。

## V. 試料の分析

生成物については、その破断強度、微細構造、タンパク変化を以下の各方法で検討した。

### 1. 破断強度の測定

冷却ダイ試料のみ検討した。すなわちこれまでの実験と同様、シート状の押し出し物について押し出し方向（FL）及びその直行方向（FV）に打ち抜き、それぞれをレオメーター（不動工業NRM-3002D）で引張り破断強度を5回測定し、単位面積当たりの平均値を求めて破断強度とした。

### 2. 微細構造の観察

微細構造観察では、冷却ダイ試料のみ検討した。方法はこれまでの実験と同様に光学顕微鏡を用いた組織化学的手法である。

### 3. SDS電気泳動

金型試料についてのみ検討した。方法はこれまでの実験と同様である。

### 4. 可溶性タンパク質量の測定

3.での上澄液を試料としてケルダール法によって試料中の窒素量を求め、タンパク換算係数を用いて溶出タンパク量を計算し、1%SDS-2 Mercapto-ethanol溶液中への可溶性タンパク質量とした。これは、原料及び生成物の可溶性タンパク質量の変化から2軸エクストルーダー処理中でのタンパク変化を検討したものであり、試料中の全窒素量そのものの変化及び単なる水溶性タンパク質量の変化は検討しなかった。

## (2) 実験結果及び考察

表11に各処理条件で調製した生成物の概略性状を示した。以後の考察での試料番号はこの表の番号を用いている。冷却ダイ使用時には、最終バレル部分の内部圧力は金型使用時に比べて高く、さらに小麦粉添加度合いが少ないほど、高い値を示した。これは、金型では圧入時に材料の温度変化が生じないように設定しているのに対して、冷却ダイでは温度低下に伴う粘弾性の上昇が材料組

成に関わらず生じたためと思われる。また、小麦粉添加有無による圧力差異は、デンプンに比べてタンパクの粘弾性が一般に高いため、押し出しに必要な圧力がより高くなったと考えられる。したがって、材料組成と成型手法によっては押し出しに必要な圧力が異なるため、押し出し能力確保のため、スクリー構成を使用条件によって適切に選定する必要があると思われる。

冷却ダイにおいて、小麦粉無添加では、生成物の小部位は強靱であるにもかかわらず、全体としては脆弱であった。しかし、小麦粉添加量が上昇するにつれ、逆に各部位は軟弱になり、部分的にデンプンと思われる分離が認められるものの、全体はソフトで一体化しており、手で裂く際に繊維性が観察された。

表 1 1 ブナザケ身肉を用いたエクストルーダー処理物

試料番号*	添加物	添加量 (w/w%)	押し出し圧力** (MPa)	水分 (w/w%)	試料の形状
1	なし	0	7.5	—	弾性のある小片の凝集体 繊維性は認められない
2	小麦粉	10	2.4	62.2	繊維性を有する組織化物 デンプンの点在認める
3	小麦粉	40	1.5	—	均一なペースト状 脆い構造
4	なし	0	1.0	59.3	弾性を有する組織化物
5	小麦粉	5	0.7	59.6	デンプンのわずかな分離 点在が認められる
6	小麦粉	10	0.6	52.8	デンプンの分離、点在
7	DSF***	5	0.8	58.7	弾性のある繊維性組織化物

\* 試料番号 1～3 は 2 軸エクストルーダーに冷却ダイを設置し押し出したもの。  
試料番号 4～7 は 2 軸エクストルーダーに金型を接続し、射出成形法で充填、成形したもの。

\*\* 2 軸エクストルーダーの出口近傍のバレル内圧力

\*\*\* 脱脂大豆粉 (Defatted Soy Flour) タンパク質 約 50% 含有

金型では最終バレル圧力は、小麦粉添加の有無に冷却ダイほど影響されないが、同様に無添加の場合が高い値を示し、生成物にデンプンの分離・凝集が認められた。

#### I. 押し出し物の破断強度

金型試料では2, 3と同様であった。冷却ダイでは、表11の試料番号の1から3について引張り破断強度測定を行い、その結果を表12に示した。

FL/Fv値は押し出し方向への生成物の繊維性度合いを示しているが、小麦粉を添加することによりその値は増加した。個々の破断強度は、小麦粉の添加により相対的な蛋白量減少のため低下した。これらの結果よりFL/Fv値の増加は、小麦粉添加により単に押し出し方向へのタンパク組織化が強化されたと考えるよりは、添加小麦粉がタンパク成分間に分散してタンパク相互の融着を抑制し、その結果、Fv値が低下したためと考えるべきである。またそれがため、冷却ダイ内部での見かけの粘弾性低下が生じて押し出し圧力の低下につながったと思われる。冷却ダイでの速度分布は粘弾性低下によって抑制されるとは言え、タンパク成分の分散が繊維性の度合いに大きく寄与していると思われる。したがって、押し出し物の繊維性及びその方向性を強調する場合、材料粘弾性を調節するために澱粉等の他成分を添加することは有効であると考えられる。

表12 ブナザケ押し出し物の引張り破断強度

試料名	FL (kg/cm <sup>2</sup> )	Fv (kg/cm <sup>2</sup> )	FL/Fv
	5回平均(標準偏差)		
1	1.12(0.26)	2.34(0.32)	0.48
2	0.76(0.51)	0.50(0.27)	1.52
3	0.19(0.03)	0.10(0.04)	1.90

## II. 押し出し物の微細構造

強度測定を行った試料について微細構造を検討した。写真15が示すように押し出し方向に沿ってタンパク成分が繊維性の構造を成していることが認められる。さらにその繊維性構造において、個々の組織間での癒着を妨げて、その方向性を強調するように多糖類成分が点在している。この結果はI. 押し出し物の破断強度で述べた考えを支持するものであり、多糖類の適量添加が繊維性構造の助長及び方向性を強調することが確認された。同様の効果が他種タンパク添加でも認められており<sup>50)</sup>、エクストルーダー研究ではないがTolsotoguzovらのタンパクの成分間分離の報告<sup>51)</sup>と照らして、いずれも符合する結果である。試料1の組織構造は、タンパク質分布は密であるもののその配列は貧弱な組織構造であり、これも強度測定での低いFL/Fv値と良く符合する。試料3においては、押し出し物自体が脆弱であり、十分に観察できる切片が作成できなかった。金型試料については、2. 3と同様であると思われる。

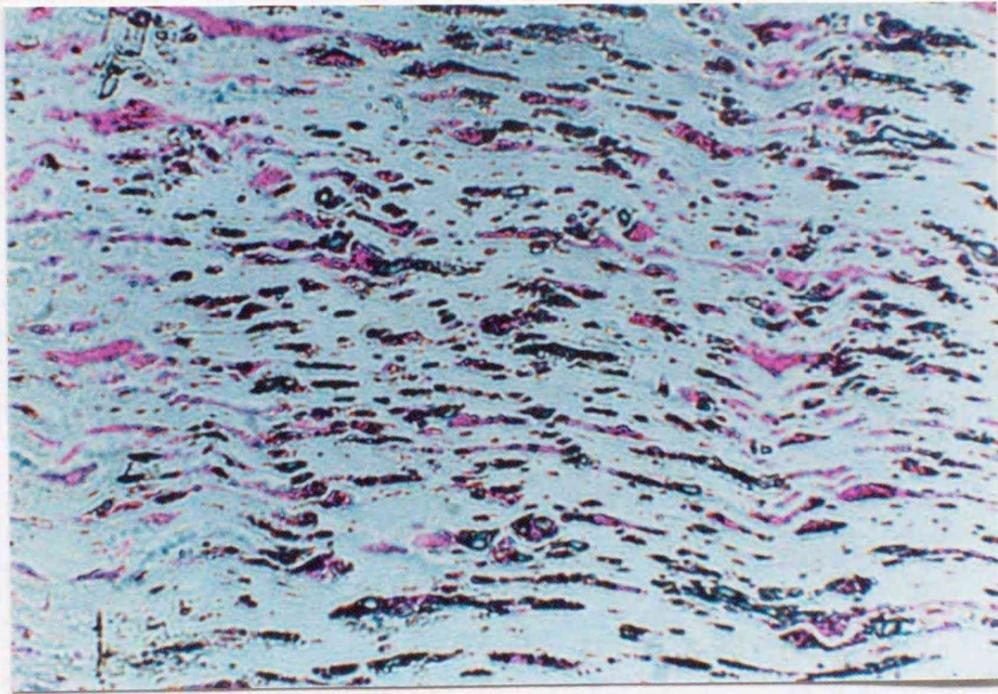
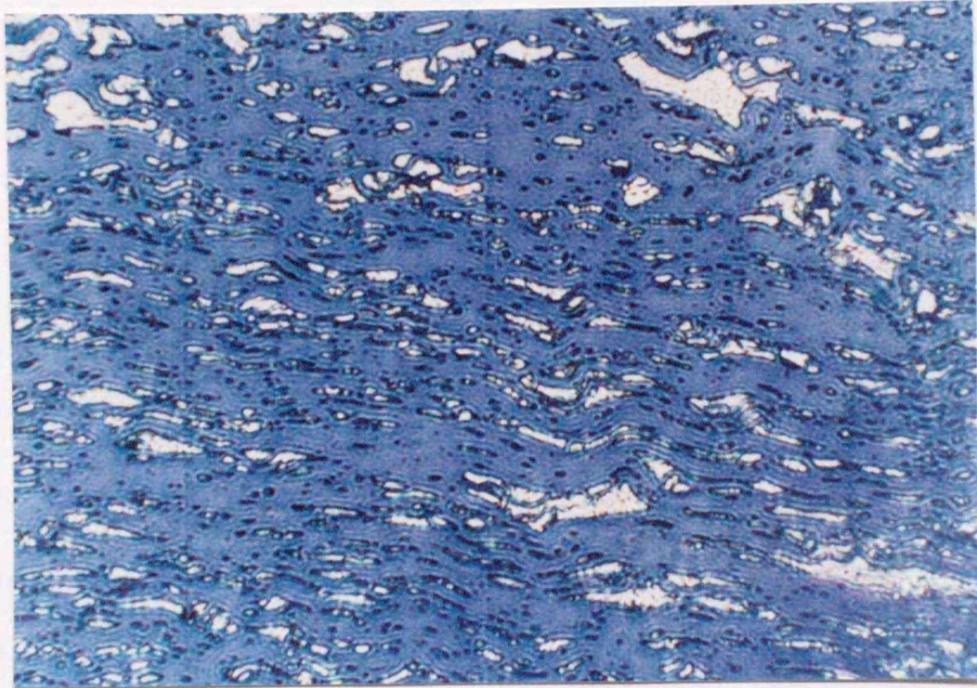


写真 1 5 ぶなざけの押し物の微細構造写真

上部 C B B 染色 (タンパク質部位を青く染色)

下部 P A S 染色 (デンプン部位を赤く染色)

### Ⅲ. SDS 電気泳動及び可溶性タンパク質量の変化

金型を用いて得た試料 4～7 について原料及び前処理物と比較して、タンパク質の変化を検討した。図 3 2 に SDS 電気泳動の泳動パターンと 1% SDS - 1% 2 Mercaptoethanol 溶液中への可溶性タンパク量の相対値を示した。可溶性はタンパクの単位重量当たりで計算した。前処理の煮沸においてもタンパク可溶性は低下している。そしてエクストルーダー処理によりさらにタンパク可溶性が低下し、また小麦粉を添加した場合に若干その傾向は高まった。したがって、使用した溶液から -S-S- 結合以外の結合が生じたと思われる。Stanley<sup>52)</sup> が述べているように、ペプチド結合が生じた可能性も考えられる。しかし、一般にペプチド結合は非常に安定であり、ある程度の高圧力下とはいえ、百数十℃でのペプチド結合の形成は考えにくい。しかも、ペプチド結合は一種の脱水縮合反応であり、本研究条件は高水分系であるため、この反応が本来起こりにくいと思われる。ペプチド結合の形成可能性として添加小麦粉のデンプンが水を保持して結果的に低水分条件が生まれた可能性は否定できない。関連研究は皆無に近く不明な点が多いため、今後の検討が必要であろう。

この泳動タンパク画分で見ると、各ピークの減少が認められるものの、特定ピークの消失あるいは形成は認められなかった。したがって、前節と同様に、エクストルーダーでの高温処理によってタンパク分子の根本的な崩壊・反応は生じていないと思われる。

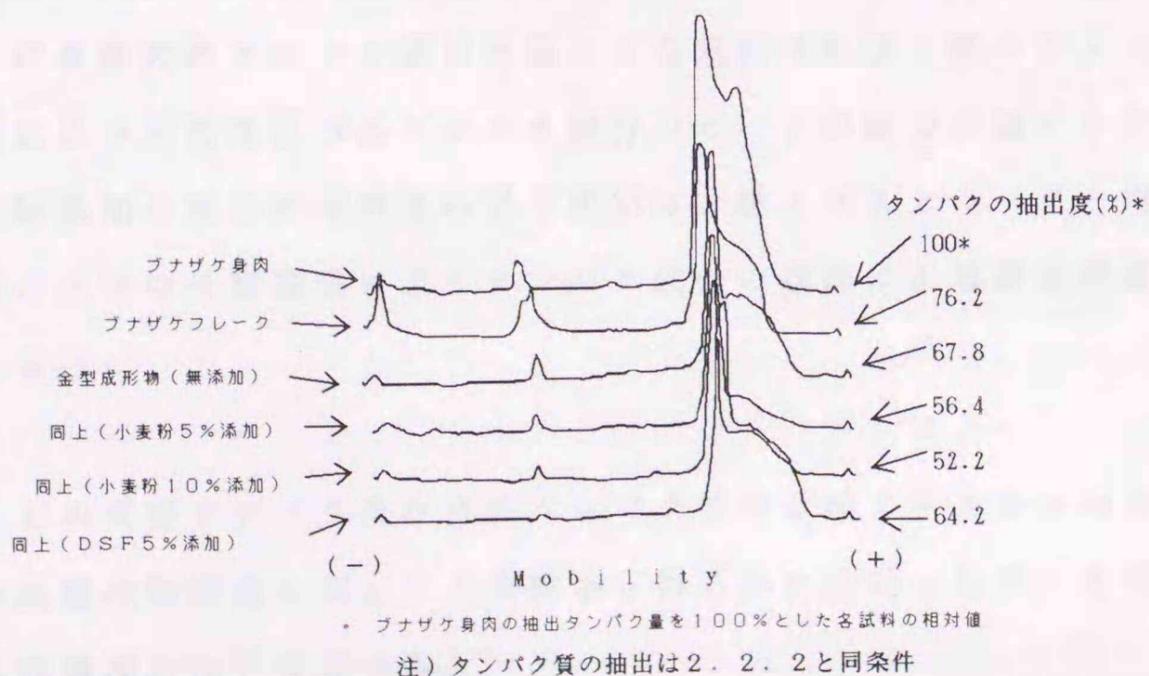


図 3 2 ブナザケ押し出し物のタンパク変化

牛肉、鶏肉及びタラスリミ等においても2軸エクストルーダー処理による組織化を行っており、今回のぶなざけと同様に、冷却ダイ使用時にあっては材料単体では材料の粘弾性の上昇に伴う内部圧力上昇のため、2軸エクストルーダーの安定運転が困難となることを経験した。したがって、Smithら<sup>53)</sup>が提唱しているように、タンパクの含有率が高い材料あるいは反応性の高い材料においては、多糖類等の添加によって、エクストルーダー内部での流動特性を調節することが肝要と考える。さらに先に指摘したように、他種タンパク成分を添加するとより良好な繊維性が得られるとの報告もあり、他種タンパクと多糖類は類似の効果を目的とするタンパクの繊維性組織化の向上に寄与する可能性から、それらの相乗効果を今後検討する予定である。

以上のように利用拡大が求められているブナザケ身肉を材料として2軸エクストルーダーによる組織化物の製造を試み、以下の結果を得た。

- ア) ブナザケ身肉から2軸エクストルーダー処理により組織化物を得た。冷却ダイを用いた場合、小麦粉の添加により組織化物の繊維化が向上した。金型を用いると、材料単体から安定して大型の組織化物を得られた。
- イ) 冷却ダイを用いたシート状の組織化物を得る場合、小麦粉の添加は内部材料の粘弾性の低下をもたらし、さらにタンパク成分間に多糖類が点在することで、繊維状のタンパク部位間の癒着を防ぎ、よりタンパク部位が延伸されて繊維性の改善に寄与したことが示唆された。
- ウ) ブナザケ身肉のタンパク質は煮沸による前処理及び2軸エクストルーダー処理により可溶性及び各タンパク画分のピークの減少が認められた。特に小麦粉添加の場合の可溶性の低下傾向は2軸エクストルーダー内部での多糖類と水分の分離凝集によるタンパク成分の濃縮による反応促進の可能性がある。

2. 4までの大豆タンパク及び魚肉タンパクでの2軸エクストルーダーでの高水分での組織化物製造に関しての実験から得られた結果から2. 5ではその組織化の形成機構について述べる。

## 2. 5 組織化物の繊維性形成メカニズム

本章でいままで述べてきた組織化の2軸エクストルーダー処理の実験によって得られた結果から高水分系でのタンパク質を主成分とした組織化物の繊維状構造の形成機構について、ここで論じてみる。

まず、いままでの結果をここで簡単に整理してみる。

大豆タンパクの組織化に関して

- 1) 組織化物の微細構造の検討から、主構造はタンパク成分からなる。
- 2) 「組織化」に必要な第1要因は処理温度であると考えられ、その下限温度が140℃付近である。
- 3) 反応時間が「組織化」における第2要因である。
- 4) 繰返し押出しの組織再形成からある温度域での大豆タンパクの熱可塑性が示唆された。
- 5) 金型の形状に充填・組織化した成形物を得たことでの射出成形法の確認した。
- 6) 組織化物の繊維性構造の成因は充填時の金型温度、冷却速度及び材料移動速度に影響される溶解したタンパク成分を中心とする材料の、金型壁面での延伸であると考えられる。
- 7) 従来の押出し成形における繊維性発現も同様なメカニズムと考えられ、全体に繊維性を有する構造の押出し物を得るにはその厚みに限界が有ると考えられる。

魚肉（ブナザケ）タンパクの組織化に関して

- 1) ブナザケ身肉から2軸エクストルーダー処理により組織化物を得た。冷却ダイを用いた場合、小麦粉の添加により組織化物の繊維化が向上した。金型を用いると、材料単体から安定して大型の組織化物を得られた。
- 2) 冷却ダイを用いたシート状の組織化物を得る場合、小麦粉の添加は内部材料の粘弾性の低下をもたらし、さらにタンパク成分間に多糖類が点在することで、繊維状のタンパク部位間の癒着を防ぎ、よりタンパク部位が延伸されて繊維性の改善に寄与したことが示唆された。

以上の結果からタンパクを主体とする高水分の組織化物について、その形成要因を整理して、組織化物の主要構造（配向した繊維性構造）の形成モデルを提示する。

繊維性の構造は、高水分組織化物に限らず、2軸エクストルーダーを用いた組織化物の製造目的が肉のような繊維性構造を持つ素材の開発にあり、この構造の形成は重要と考えられる。しかし、今までの結果からその繊維状の構造は2軸エクストルーダー内での処理によるタンパクの化学変性によるものではなく、物理的な構造変化によるものであることが、特に2. 2. 2の実験結果から示唆されている。そして、その構造はある温度域で可逆的に生じている。そしてGwiazdaらの報告<sup>54)</sup>によると、この繊維性の構造は2軸エクストルーダー内部では確認されず、やはり、2. 3で示されるように、出口部（ダイ付近）で形成される可能性が大きい。

さらにダイでの繊維性形成は高水分素材の押し出し処理に不可欠な冷却ダイでの材料の温度低下にともなう材料の粘度の上昇、そしてその粘度の変化がダイ内部での材料の冷却勾配と比例してダイ内部の材料間で異なっていることによって生じる速度の不均一さによっていると考えられる。つまり、冷却ダイ内壁面に近い材料から温度低下にともなう粘度上昇を受け、ダイ内壁面における粗度から押し出し速度が低下し、材料中央部との速度勾配と材料の粘度の上昇が、押し出し速度の異なる境界面によって材料同士の延伸、ずれを生じる。それが集合したタンパク成分を押し出し方向へと糸のように引き延ばし、繊維性の構造を形成すると考えられる。そしてこの冷却ダイでの材料の冷却にともなう粘度上昇はタンパクの量及び種類によって異なるために、冷却ダイでの材料に合わせた適切な冷却速度は要求される。事実、2. 4でも示した魚肉タンパクの場合、その冷却速度は非常の緩やかでなければ、ダイ内部で急激に粘度が上昇し、タンパクの延伸が生じないばかりか、内部で流動性を失い、閉塞状態に陥ってしまうことが確認されている。そのため材料の粘度をうまく調整できるような冷却速度の調整が出来るダイが必要となってくるのである。さらにこの粘度上昇による速度分布の不均一さによるタンパクの延伸効果は材料中のタンパクとデンプン等の2次成分の混入割合によっても異なることが、2. 4で明かとなっている。これは繊維性の構造の主成分となるタンパク質が多い場合、内部での

反応によって凝集したものが冷却ダイの中では過度の粘度上昇により十分に延伸できないで、ある程度他成分がタンパクの成分の凝集を調整し、2軸エクストルーダーでの優れた分散効果で材料中に分散されたタンパクの場合、冷却ダイでの粘度の上昇の延伸していくのに適切であり、また他成分が主構造の層間に配置されることで、さらに延伸が促進され優れた繊維性が形成されると考えられる。この効果はアルコールの添加によっても確認しており、アルコールの添加を例に以上の考えをまとめたのが図33であり、2軸エクストルーダーでの高水分タンパク素材の繊維性構造はこの様に形成されると考えられる。

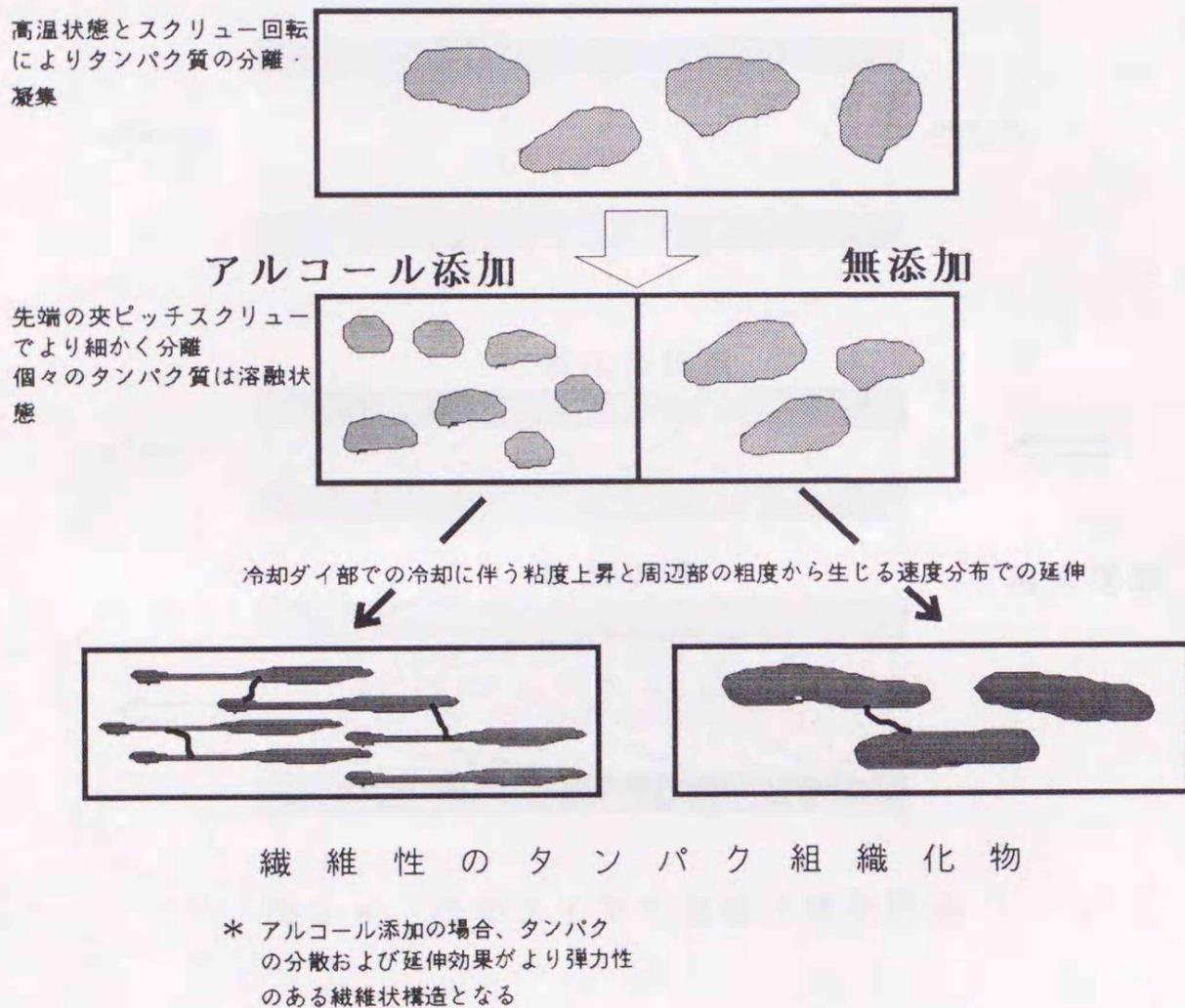


図33 押し出し物の繊維性の形成メカニズム

したがって冷却ダイで繊維性の組織化物を得ることは、このダイ部での材料に合わせた冷却速度が重要となり、図34に示したように適度なダイの冷却調整によっては、様々なダイ厚みでの組織化物が得られるし、冷却が過度であったり、不足した場合には、良好な繊維性構造は得られないことが示唆される。

以上が高水分でのタンパクを主構造にした繊維状の組織化物の形成に関する研究結果である。

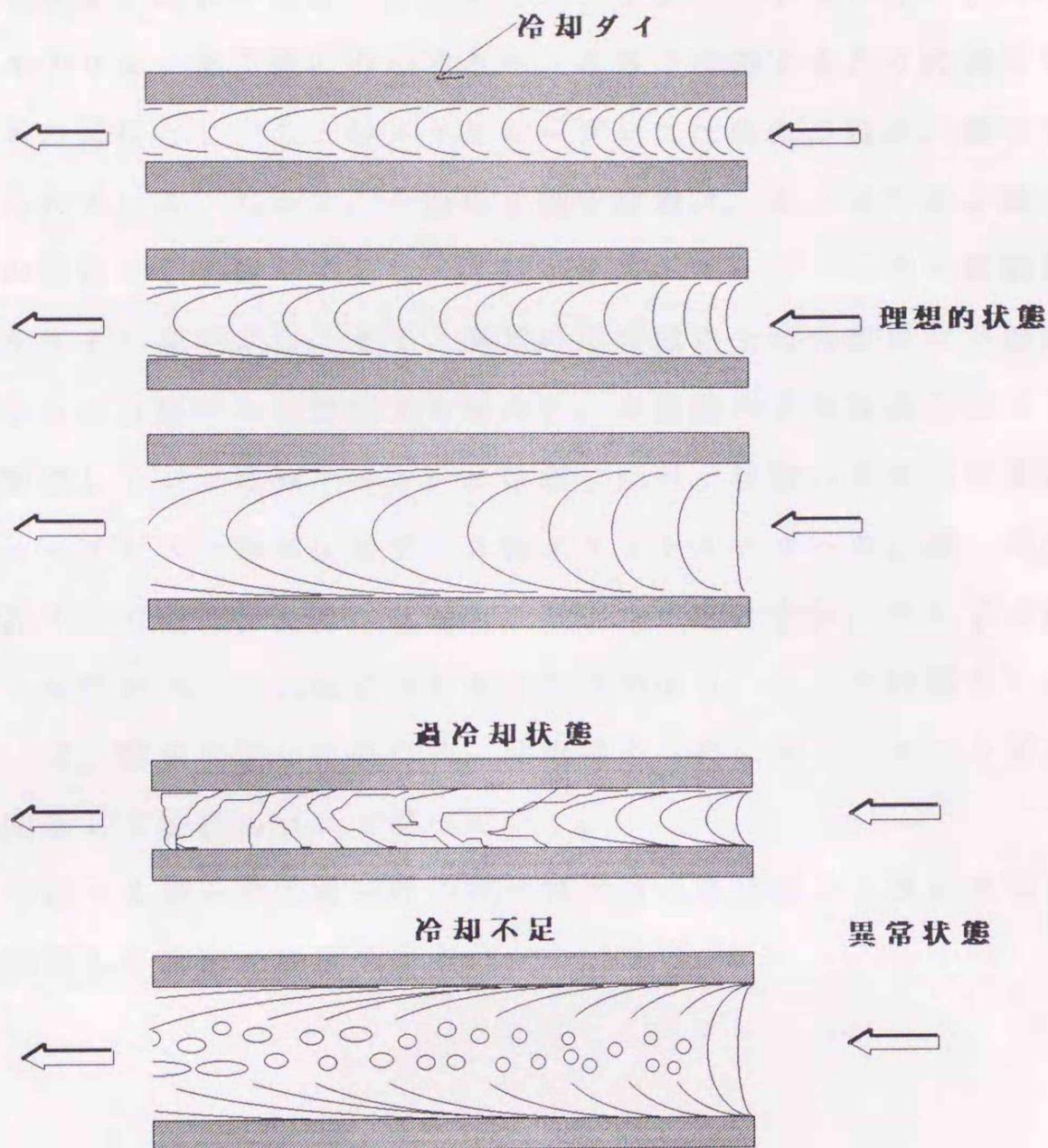


図34 冷却ダイでの繊維性構造形成

### 3章 2軸圧搾機の開発

#### 3.1 緒言

1章で述べたようにスクリュウ圧搾機（スクリュウプレス）はエクストルーダーと同様スクリュウ加工機の中核であり、本章で後述するように通常のスクリュウプレスの延長としての2軸スクリュウプレスは魚肉の脱水、果実の搾汁などの用いられている。しかし、今回の2軸圧搾機は、あくまでの2軸エクストルーダーの延長として捉えており、2軸エクストルーダーの優れた機能、発生する現象をうまく利用することで、通常の圧搾機以上の分離効率の達成、低コスト化、さらに分離物の品質向上を試みた。本装置の試作は通常のスクリュウプレスを製造している機械メーカーに依頼したが、装置の基本的仕様は、従来のスクリュウプレスを参考にせず、2軸エクストルーダーの圧縮、脱液機能を十分に強調する方向で行った。2軸エクストルーダー自体、そして2軸圧搾機についても使用材料、加工法に合わせた仕様がある。ここでは開発した2軸圧搾機について、開発当初の仕様目的、油糧種子（特に脱殻ヒマワリ種子）からの搾油に関連して装置について述べていく。

なお、4章で述べる個々の固液分離の搾汁時における装置的な改良点等については4章の関係した箇所でも補足を行う。

### 3. 2 2軸圧搾機について

ソリッドコアとしての殻の存在が効率的な搾油に不可欠な1軸のスクリー  
圧搾機に変わって、材料形状等にあまり左右されない2軸搾油機を2軸エク  
ストルーダーの応用技術として開発した。本装置はエクストルーダーが1軸から  
2軸へと改良されることで内部での材料移送能力が増加し、材料の適用範囲も  
拡大されたこと、さらには内部での現象等をうまく制御できることを応用して  
いる。

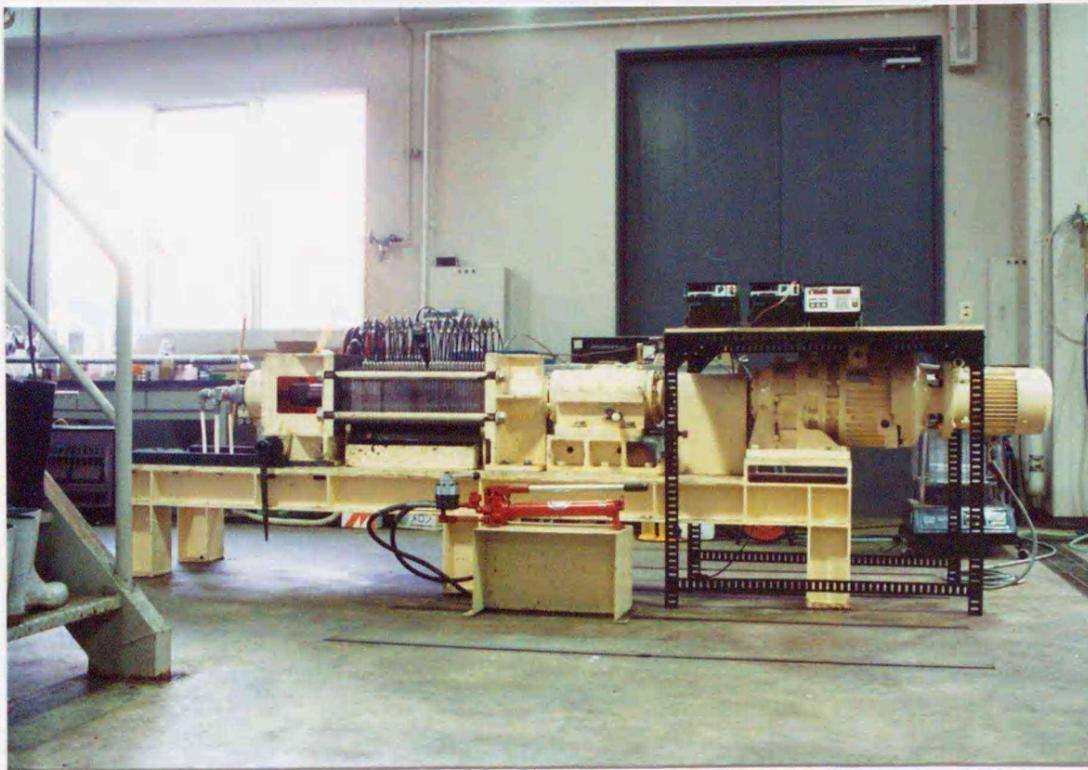


写真16 試作2軸圧搾機

写真16に装置の概観、写真17に圧搾バレル部分、写真18にスクリー  
部分を示す。また図35に2軸圧搾機の説明図を示す。構造の最も重要な点は  
不完全に噛み合った2本のスクリーである。従来の1本のスクリーを用い  
た圧搾機では内部での移送形式が材料とバレル内面との摩擦である。そのため  
材料の性状に限定が在ると同時に、スクリー内部での材料の粉碎・混合があ  
まり期待できないために、油糧種子の場合、殻と共材して処理するとか、前も  
って粉碎等の処理を必要としている。さらにはバレル内部の材料移動にともな  
う摩擦熱の発生で品質の劣化が生じるとともに多量の消費エネルギーが必要と  
されるなどの問題点が存在していた。2本のスクリーを使用することで、一  
方のスクリーチャンネル上の材料を他方のスクリーフラインがそれを押し

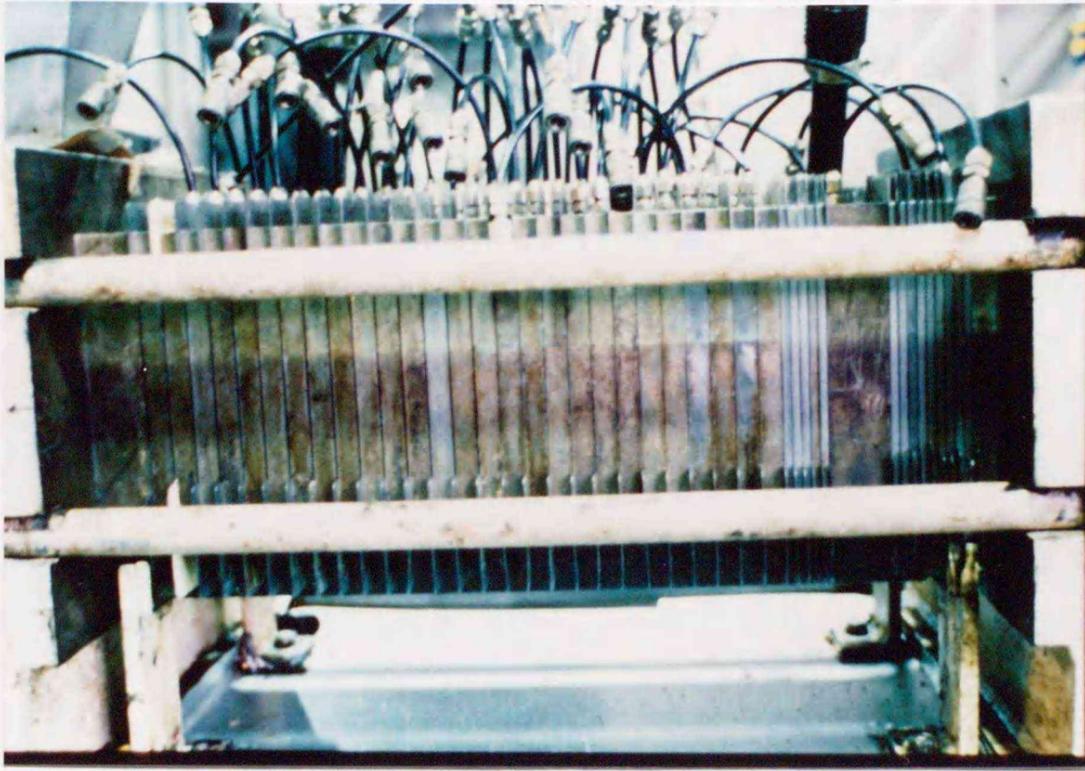


写真 1 7 試作 2 軸圧搾機の圧搾バレル部分

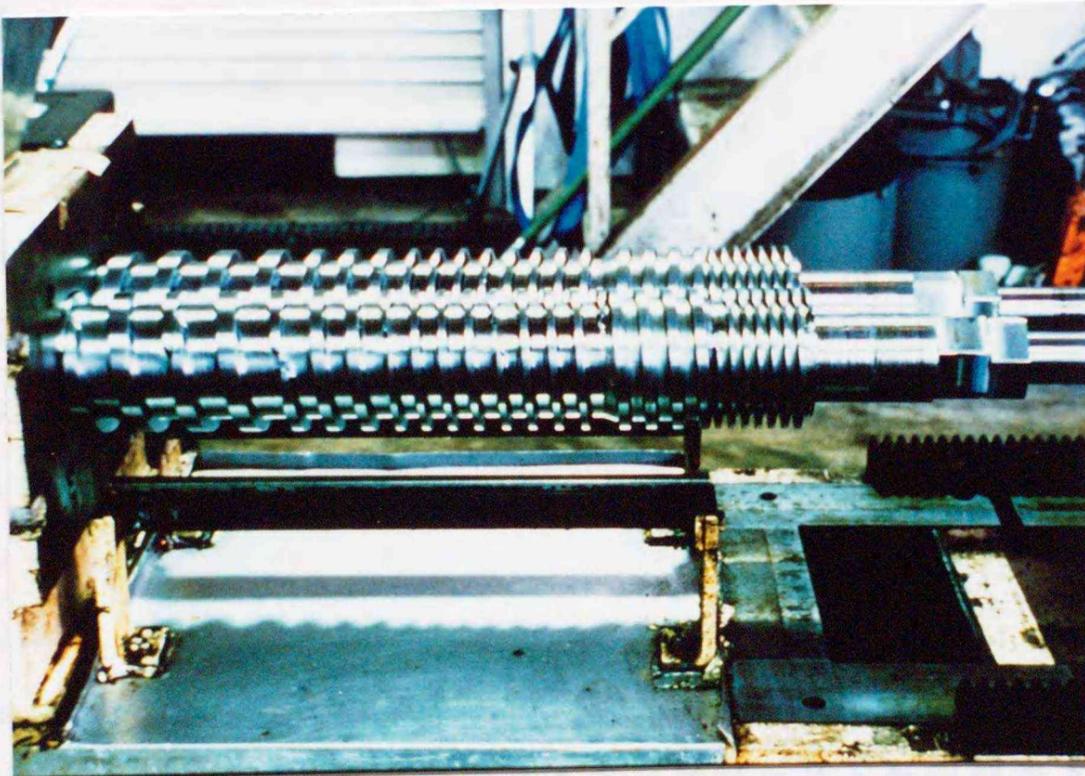


写真 1 8 試作 2 軸圧搾機の異方向不完全噛み合いスクリュー

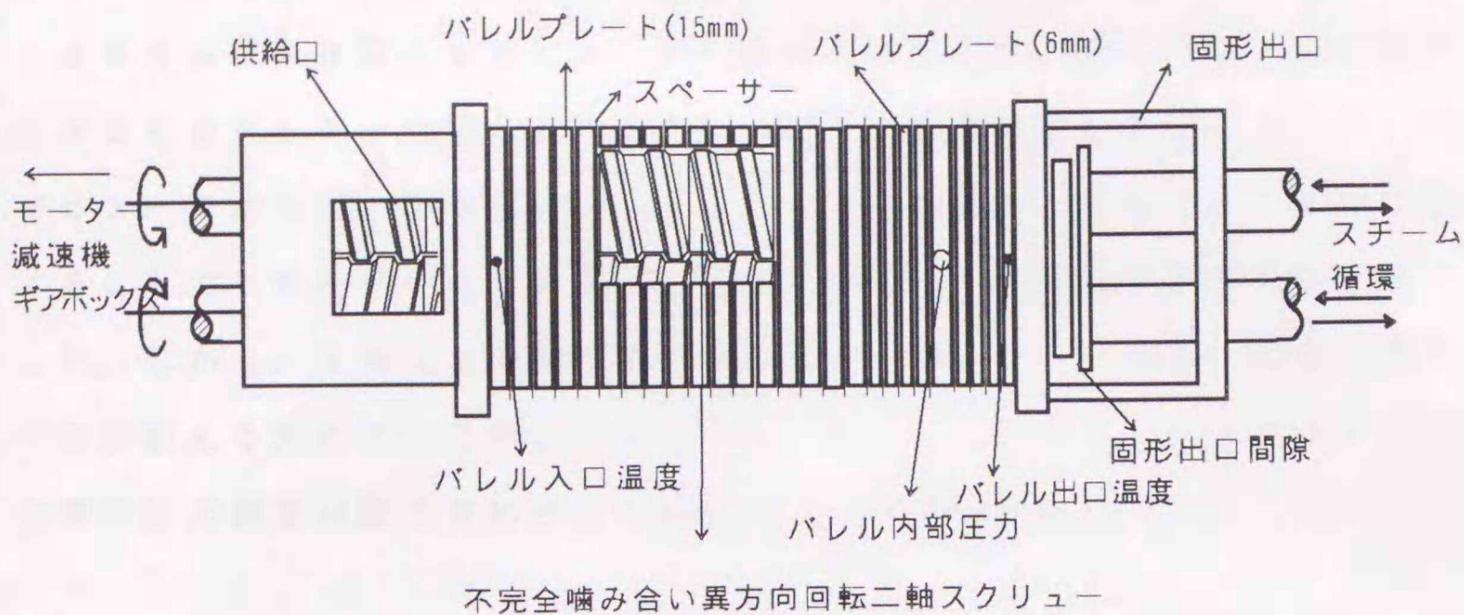


図 3 5 2 軸圧搾機の構造概要図

とどめる。そしてスクリュー回転によって材料を前方へと滑らせていきながら、スクリュー間隙で材料を粉碎・混合していく。そのため、材料の水分や油分の含有率によらず移送が可能となり、内部の圧力上昇にともなう固液分離ができることになる。なおかつ、摩擦熱の発生が抑えられるために、バレルの摩耗による消耗を減じ耐久性が増加する。また、液状分及び固形分に対する熱変性の危険性が少なく、品質の向上が望まれる。試作したスクリューは、図に示すように異方向回転の不完全噛み合いタイプである。異方向回転は見かけ密度が小さいヒマワリ種子などを喰い込みやすくしており、さらに異方回転では若干粉碎・混合機能が劣る欠点を噛み合い度合を不完全にして補っている。ヒマワリ種子の長径、短径を考慮して噛み合い部の間隙は6mmと設定した。もちろん材料の性状により2軸スクリーの回転方向や形状は最適なものを選択しなければならないが、噛み合った2本のスクリューで材料を移送することが2軸圧搾機の最大のポイントとなる。従来からすりみの脱水や果実の脱汁工程において2軸式のスクリュープレスが用いられているが、このスクリューフライトは薄い板状でスクリュー間隙が広く、粉碎・混合能力は弱い。また、移送能力もそれほど強くないため、高水分で繊維分の多い材料には1軸圧搾機より効率的であるが、高圧力で圧搾する場合や油糧種子のように破碎処理が必要な場合には

適さず、汎用性のある今回の2軸圧搾機とは異なる。

スクリューは8個のセグメントから構成されている。開発当初、出口部のスクリューセグメントは図36のように内部での圧力調整のためのテーパ付きのカラーであった。そのため、スクリュー軸は油圧ポンプによって前後に移動することで、テーパによる開口面積の調節による内部圧力等を制御しようとした。しかし、2軸化での材料移送様式を最大限生かして内部での摩擦熱等の発生を抑えるために、この出口直前のスクリューセグメントもスクリュー化し、内部の圧力調整は図36に示した外部の出口間隙調節によって行うようにした。

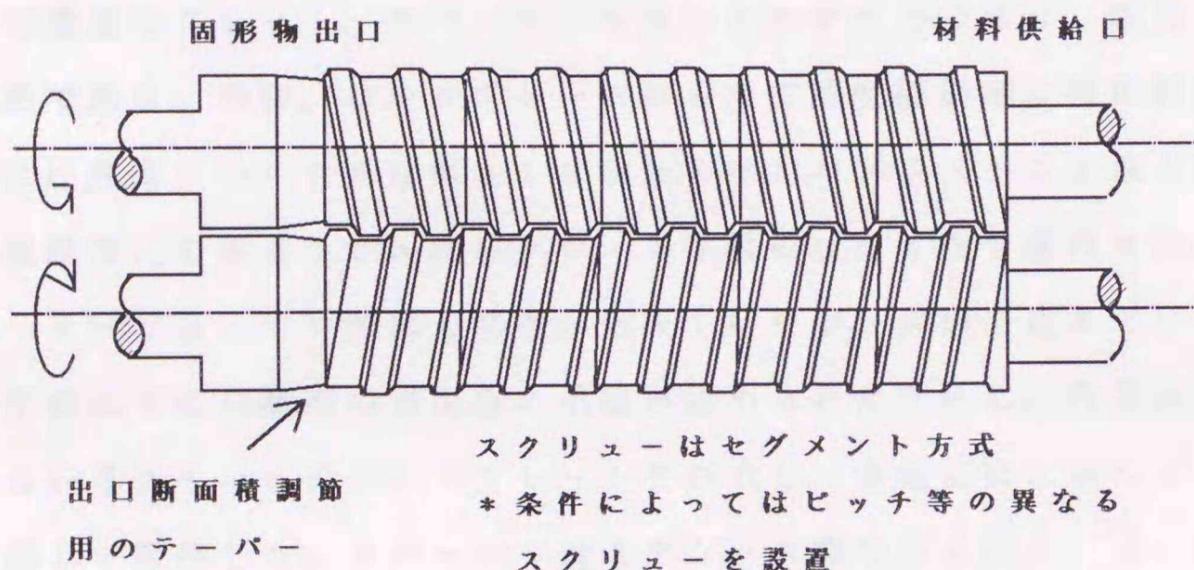


図36 不完全噛み合い異方向回転スクリュー（初期形状）

スクリューの長さは供給部で150mm、出口部が125mmであとの中間部の6セグメントが各々100mmであり、ピッチ長が50、40、33、25、12.5mmの5種類を使用することが出来る。移送能力の確保のために1条スクリューとしている。スクリュー直径は136mm、L/Dは6.4（スクリュー有効とスクリュー直径の比）となる。

次に、この2軸圧搾機の特徴的な構造は圧搾バレル部分である。内部圧力により分離された液状物が系外に放出されるスクリュー周辺のフレームを圧搾バレルと呼ぶ。逆流を防ぐためスクリューラウンドとバレル内壁面とのクリアラ

ンスは微小なものでなければならず、2軸スクリーンの場合、取り囲む圧搾バレルの断面形状はメガネの形のような双分子状となる。通常の1軸圧搾機の場合は多孔構造の円筒バレルや円周上に立機をおき外周部を締めて固定する方式である。しかし2軸の場合、これらの構造では複雑な形状をとらざるおえず、さらに、圧搾バレル長やスリットやメッシュサイズも容易に変更できないことから、図37のような縦スリット型の圧縮バレルを試作した。支持体となるバレルプレート間に間隙設定のスペーサーを置くことでバレルプレート間のバレル内壁面に接する全ての外周がスリット面となる。この方法ではスペーサーの厚みを変えることで容易にスリット幅を変更できるため内部状態にあったスリット配置が可能であり、さらに全体の圧搾バレル長も容易に設定できる。構造上も単純な構造のプレート、スペーサーを重ね合わすだけであり、制作・組み上げも簡便である。当初、バレルプレートにも全て温度調節用の循環経路を設けたために圧搾部分のバレルは厚さ15mmのバレルプレート31枚と圧力計等の測定機設置用の厚さ30mmのプレート3枚の計34枚で構成され、33対のスペーサーによって分離用の間隙が出来ていたが、実験を進めていく過程で先端の圧縮部での分離用の表面積の不足が認められたために、内部の循環経路を持たない厚さ5mmのバレルプレートを作成し、先端部に10~20枚程度状況に応じて設置した。スペーサーはステンレス製で厚みを0.2、0.3、0.4、0.5、0.9mmの5種の異なる厚みのものを組み合わせることで、様々な間隙を設定することが可能である。

2軸圧搾機は摩擦熱の発生が抑えられるために外部からの温度調節が容易であることからスクリーン内部及びバレルプレート内に温度調節用の液体が循環できるようになっている。駆動部の構造はモーター、減速機、動力分配機からなっている。モーター出力5.5kwと同程度の1軸圧搾機に比べて、材料の移送形式や内部挙動から低出力が可能となった。減速機により調節されて、スクリーン回転数は17~80rpmとなる。材料の見かけ密度等で若干は異なるが供給口部の空間体積から装置の処理量としては50~250kg/hrとなる。

実験中は装置の主モーターの電流値及び圧搾バレル温度を供給部、中間部、出口部の3点、圧力を出口部で測定を行った。装置については日本を含めて3ヶ国に特許出願を行っている。

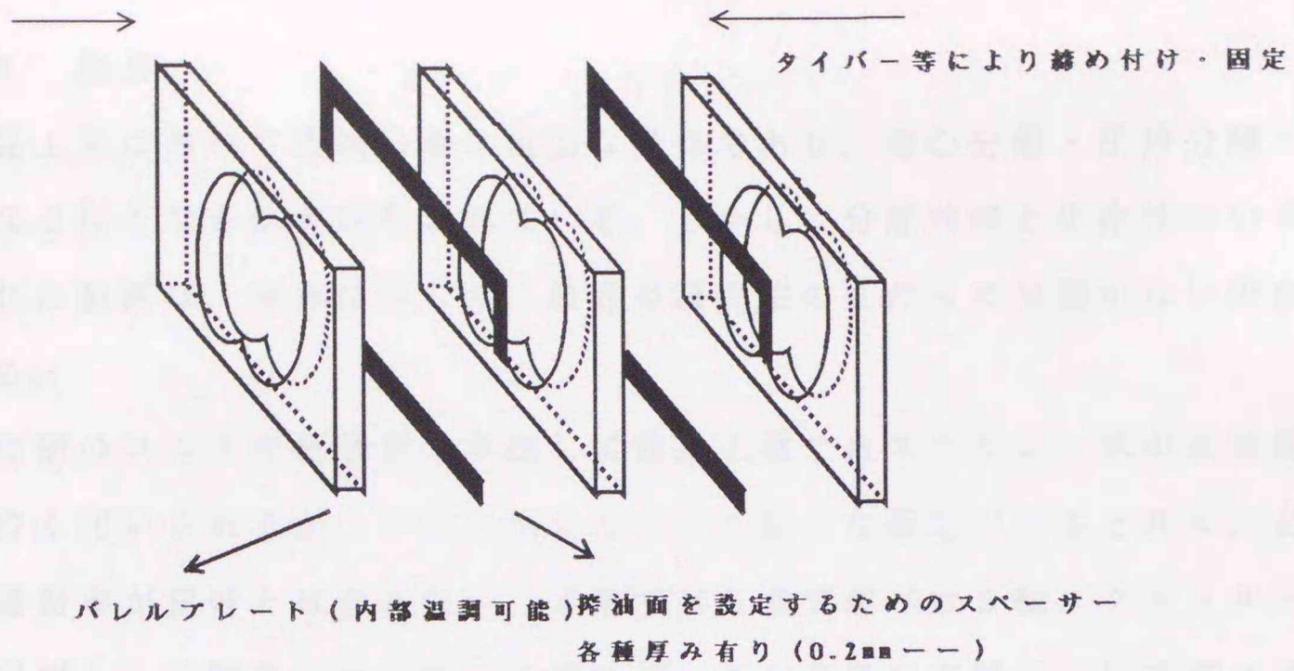


図 3 7 縦スリット式バレルの構成

## 4章 2軸圧搾機の搾油・脱水技術の開発

### 4.1 緒言

食品工業において固液分離は重要な操作であり、遠心分離・圧搾分離・沈降分離など様々な方法が開発されている。しかし、分離効率と生産性のいずれにも優れた装置は、皆無に等しく、最近の操作法の主だった発展がないのが現状である。

処理物のコストや処理量を考慮して食品工業ではスクリー式の連続圧搾装置が良く用いられるが、3章に示したように様々な限定があると共に、必ずしも分離効率が良好とは言えない。本章では3章で述べた2軸エクストルーダーの応用例として開発した2軸圧搾機を用いた分離操作実験について述べる。4.2では植物種子からの搾油実験についてであるが、最近ヒマワリ油やサフラワー油のような高リノール酸植物油の消費ニーズが高まるにつれてヒマワリは北海道を中心に転換作物として作付面積が増加する傾向がみられ、既に国産原料のヒマワリ油がプレミアム植物油として販売され始めている。しかし、国内の種子を使用する事によるコストアップは避けられず、効率的な搾油法及び残渣の有効利用によるコスト低減が望まれている。油糧種子の製油工程は圧抽法が一般的になって以降、部分的な改良が進んではいるが、抜本的な革新技術は出ておらず、搾油機の改良及び溶媒を用いる抽出工程の改善あるいは代替技術の開発等はヒマワリ油の製造に限らず、懸案課題となっているのが現状である。

ヒマワリ種子からの搾油におけるコスト低減及び原油・搾油残渣の品質向上を目的とし、ヒマワリ種子の搾油処理及び菜種種子等への適用を検討した。

特にヒマワリ種子の場合は、1章で述べた大豆以外の植物タンパクの有効利用技術の開発の意味も持ち、タンパク質の豊富な圧搾残渣を食品素材用のタンパク資源として利用できるように脱殻処理した種子についての検討を行った。

4.3では脱水・搾汁といったより食品産業での用途での利用を検討する上で、比較的応用がやり易い魚肉処理での搾油・脱水について可能性を探り、将来的な脱水等による食品産業での利用拡大の一步とした。

## 4. 2 油糧種子からの搾油

### 4. 2. 1 脱殻ヒマワリ種子からの搾油

#### (1) 実験方法

##### I. 実験材料

使用したヒマワリ種子は米国ミネソタ州で生産されたハイブリッド444及び北海道北竜町農協で集荷された混合品種のものである。

主に実験に用いた米国产のものは脱殻時において、水分7.2%、油分58.6%、タンパク質20.3% (タンパク質係数5.7)、クロロゲン酸1.1%であり、脱殻種子に含まれる殻は1%以下である。種子全体に対する殻の割合は25%であった。

北海道産においては水分4.2%、油分57.5%であった。

##### II. 実験装置

3章で述べた2軸圧搾機を使用した。さらに対象実験には写真19, 20に示す試験用の小型一軸圧搾機を用いた。仕様等については表13に示した。

表13 試験用小型1軸圧搾機の仕様

処理能力	5 ~ 20 kg/hr
スクリー直径	56 mm
圧搾バレル長	225 mm
モーター動力	3.7 kw
スクリー回転数	8 ~ 32 rpm

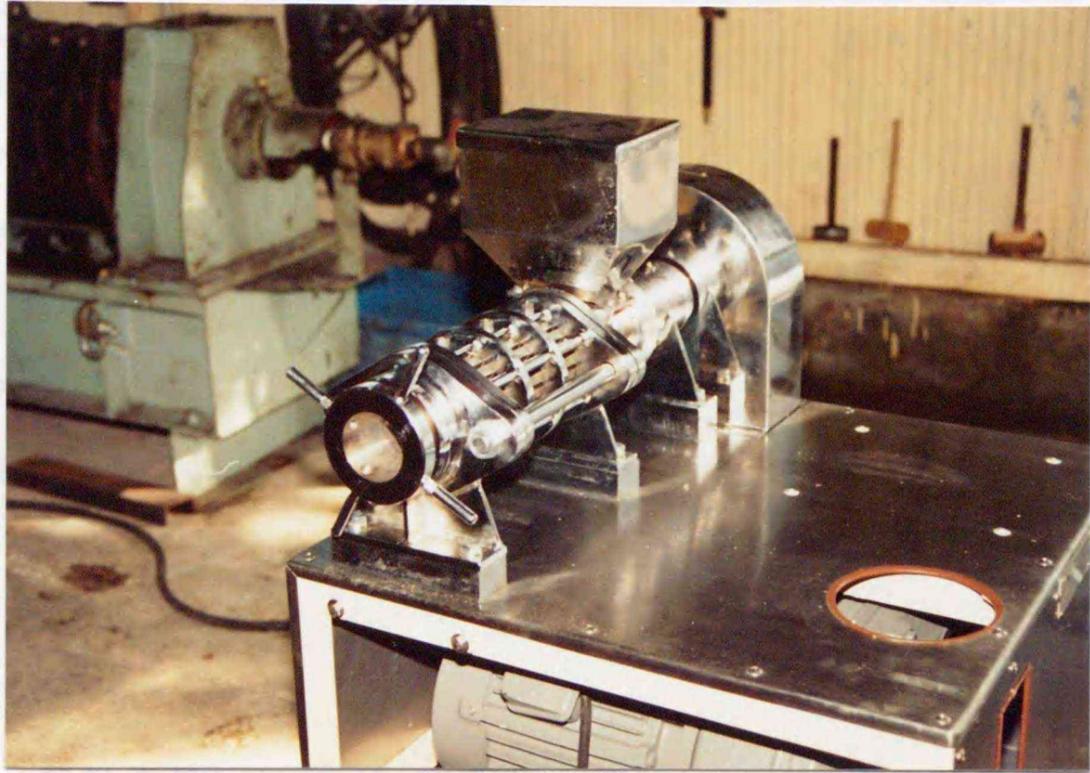


写真 1 9 試験用小型 1 軸圧搾機（近景）



写真 2 0 試験用小型 1 軸圧搾機（全景）

### Ⅲ. 実験条件

#### 1. 1軸圧搾機との比較試験

図38に実験手順について示す。脱殻については米用粃摺機（オータケFH450, FY35）で篩部分の目の大きさをヒマワリ用に大きくした篩を使用して行った。1回の脱殻処理では殻の残存が重量比で2%程度確認されたため、2回処理を行い脱殻種子を得た。写真21に装置を示し、写真22に脱殻状況を示した。原料については米国産及び北海道産の2種を用いた。脱殻後の種子を2軸圧搾機に供して搾油を行った。1軸圧搾機では殻付き及び脱殻種子を原料として搾油を行い、2軸圧搾機においては脱殻種子のみを原料として実験を行った。

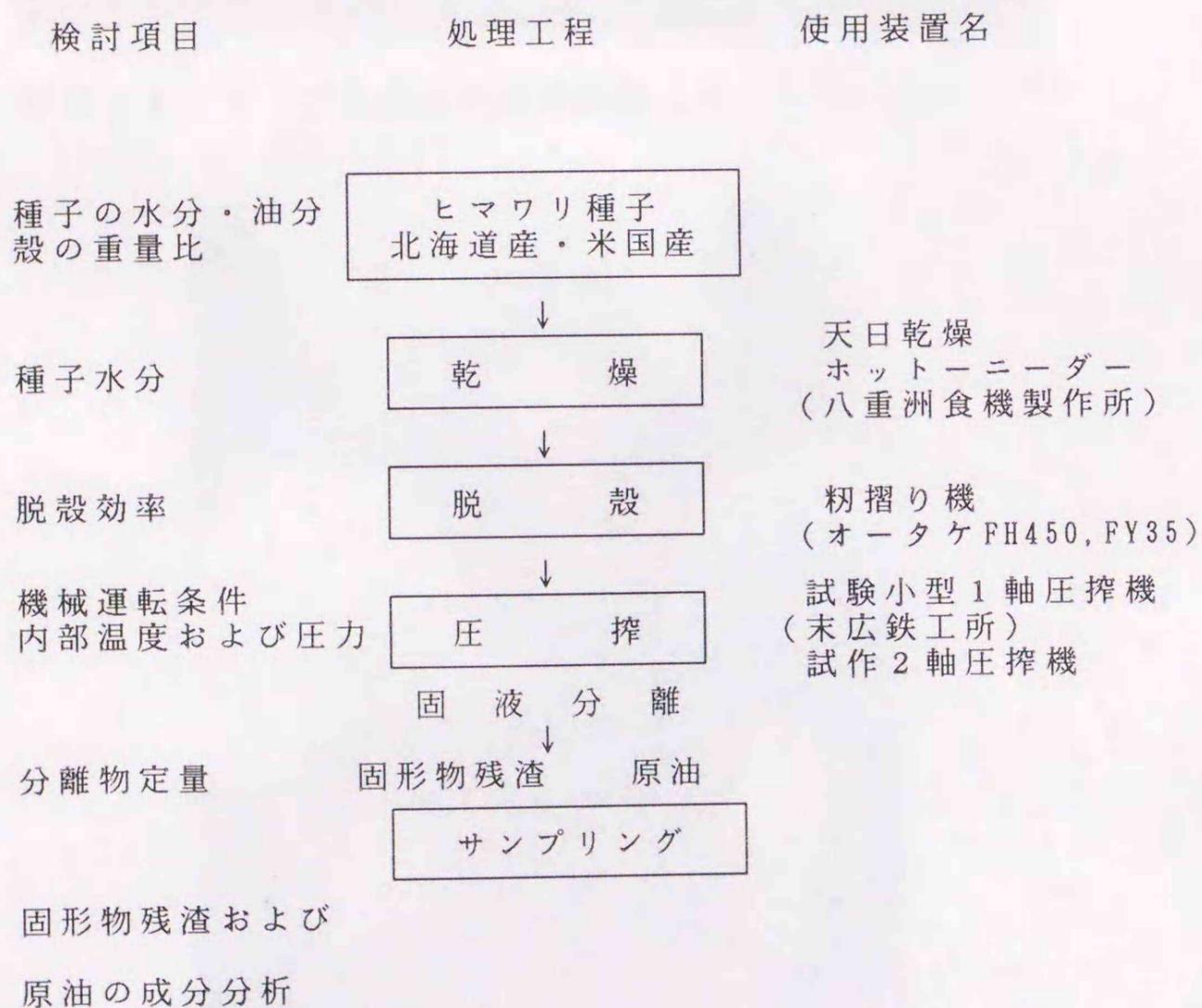


図38 脱殻ヒマワリ種子からの搾油実験



写真 2 1 ヒマワリ種子の脱殻装置（オータケ F T 4 5 0）



写真 2 2 ヒマワリ種子の脱殻状況

## 2. 最適条件の検索及び大量処理化の検討

種子水分の異なる原料を用いて実験を行い、搾油効率への影響を検討した。材料調整は同一種子（米国产：水分7.5%）をホットニーダー（八重洲食機製作所：100ℓ）で加熱乾燥して行った。乾燥においては図39に示すような水分減少であったため、加熱時間を20、30分とし未処理のものを含めて3つの水分試料（3.3, 5, 7.5%）を得た。なお加熱中の種子温は60℃を越えないようにした。

種子水分を調整した3種の米国产原料と北海道産原料（水分4.6%）を脱殻処理し、搾油実験を行い、搾油効率及び成分変化等を求めて比較した。

また搾油機のスクリー回転を増加させること（18、35、70rpm）で供給量を増加し、搾油効率の変化を検討した。処理量を増加しても高い搾油効率を得られるためのスクリー配列の検討を行った。

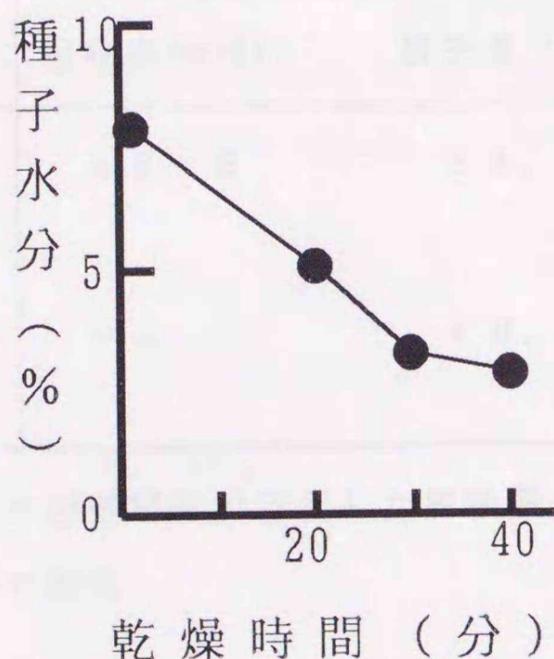


図39 種子水分と乾燥時間の関係

## IV. 試料の分析

搾油時の装置の運転状況（装置温度、圧力、モーター電流）を記録するとともに得られた試料（原油及びプレスケーキ）の成分分析（水分、油分、夾雑物、鉄分、酸価等）を常法<sup>55)</sup>にて行い、搾油効率を求めた。搾油効率は原料中の油

分と得られた原油及び圧搾残渣中の油分から、原料中の油分の何%が圧搾分離において得られた原油として回収されたかを示している。さらに対照とした試験用小型1軸圧搾機（末広鉄工所製）による搾油実験との比較を、モーター電流及び搾油量から求めたエネルギー消費量等を用いて比較した。

## (2) 実験結果及び考察

### I. 1軸圧搾機との比較試験

表14に示すように脱殻処理における子実の損失量は重量比で16~25%と大きく、効率的な脱殻処理法の検討及び開発が今後の課題と言える。

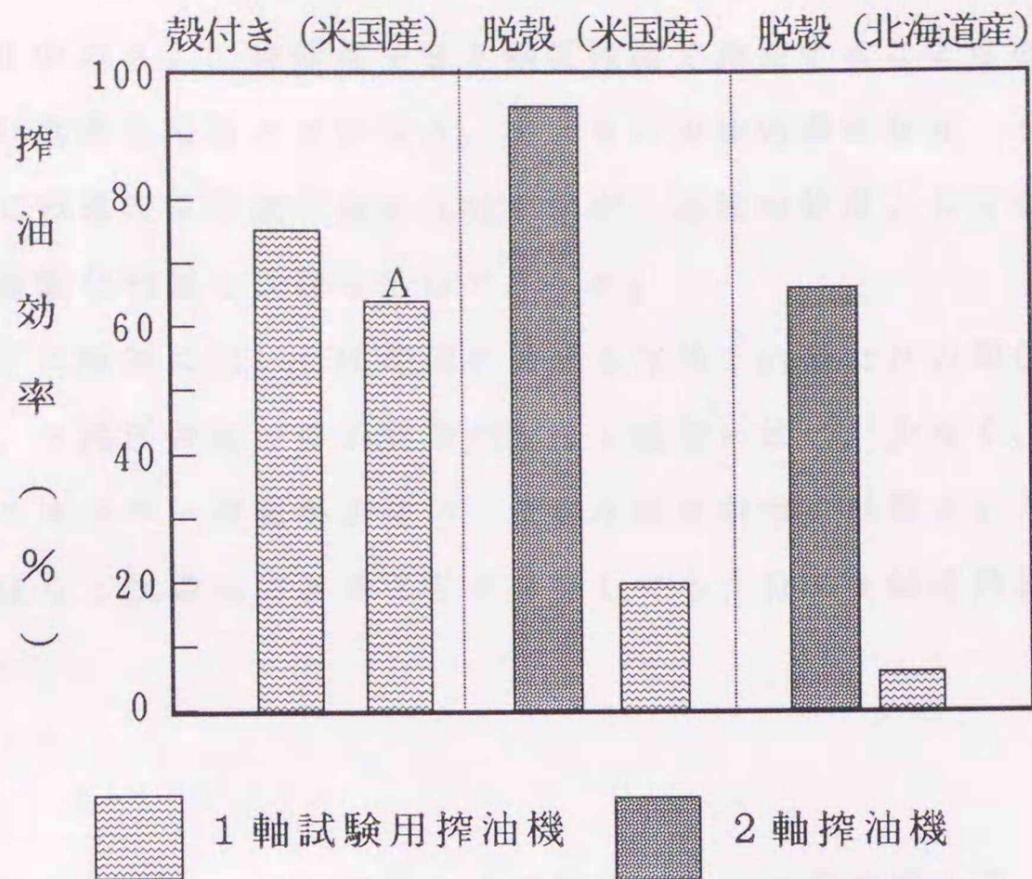
表14 脱殻時の損失\* (脱殻効率)

材 料 名	回収率(W/W%)	損失量(内子実ロス)(W/W%**)
米 国 産 (水分3%)	45.5	54.5 (24.6)
北 海 道 産 (水分3.8%)	59.6	40.4 (16.3)

\* 粉摺り機による2回処理後の回収した脱殻種子の原料に対する重量比

\*\* 100粒において測定

図40に2軸圧搾機(搾油機)及び対象とした1軸圧搾機を用いた搾油実験における搾油効率を示す。図に示したように殻付きの種子では1軸圧搾機で75%程度搾油できるが殻無しの場合は20%以下とほとんど搾油できなかった。これは内部での原料移送において移送力がなく、材料が停滞してペースト状となり固液分離が出来なかったためである。2軸圧搾機では脱殻種子において条件によっては90%以上といずれの条件でも高い搾油効率を示した。殻付き種子では材料の単位体積当りの含油量が脱殻種子より少ないことを考慮すれば、



注) A 同量の脱殻種子中の含油量を基準とした補正值

図 4 0 ヒマワリ種子からの搾油効率

表 1 5 搾油条件と結果 (搾油効率及び原油成分: 米国産種子)

運 転 条 件		搾油効率及び原油成分	
供給量	50kg/hr	搾油効率	93.6%
スパー配置	0.9mm×14(供給口側) 0.5mm×19(出口側)	水分	0.34W/W%
スクリー仕様	図 4 3 の上部の仕様	夾雑物	0.54W/W%
圧搾表面積	170.9cm <sup>2</sup>	鉄分	1.8ppm
ハベル温度	49.6°C(供給口) 91.4°C(出口側)	ワックス分	0.89W/W%
スクリー回転数	18rpm	酸価	1.23
モーター電流	15.1A(トルク149.6kg-m)	過酸化物価	10.8meq/kg

(図40中のA)、脱殻種子を2軸圧搾機で搾油することは従来法に比べて非常に高い効率を得ることになる。表15に搾油効率が93.6%となった実験についての運転条件及び油の成分を示す。原油の特徴として夾雑物が少なく、酸価・過酸化値も良好なものであった。

表16に試験に用いた圧搾機における搾油1kg当たりの単位消費電力量を示したが、2軸圧搾機での消費電力量は1軸型に比べ、少なく、内部の摩擦熱等によるエネルギー消費が少ないことが示唆された。対照としたものが通常の圧搾機ではなく試験用であることを考慮しても十分に2軸圧搾機の優位性が認められた。

表16 ヒマワリ種子からの搾油における消費電力量

処理方法	搾油量 (kg/hr)	消費電力量* (kwh)	単位消費電力量** (kwh/1kg oil)
1軸圧搾機 殻付き種子	5.29	3.5	0.67
1軸圧搾機 脱殻種子	2.86	3.5	1.25
2軸圧搾機 脱殻種子	23.45	3.4	0.14

\* 圧搾機のモーター使用電力量のみを測定した値

\*\* 1kgの油を得るための圧搾機のモーターの消費電力量

さらに2軸圧搾機及び1軸圧搾機による搾油後の圧搾残渣の窒素溶解指数(NSI)を検討したところ、表17に示したように2軸圧搾機でのタンパク

の熱変性が少なく、その度合いは先端出口の間隙の調節である程度制御できることが示された。いずれにせよ、タンパクの熱変性が少なく、加工適正を保持したまま、また殻を含まないことでタンパク含有率が増加した、夾雑物の少ない残渣が得られることにより、残渣の利用用途の拡大、付加価値の工場が期待される。

表 1 7 圧搾処理によるタンパク質の変化

	1 軸圧搾機による プレスケーキ	2 軸圧搾機によるプレスケーキ 出口間隙 大	2 軸圧搾機によるプレスケーキ 出口間隙 狭
NSI 変化*	34.3	82.0	60.6

\* 原料の種子タンパク質の NSI 値に対するそれぞれのプレスケーキ内のタンパク質の NSI 値の割合

2 軸圧搾機により脱殻種子での効率的な搾油が可能である事が確認されたが、図 4 0 で示したように原料によって、その搾油効率は大きく変化している。したがって 2 軸圧搾機を用いた搾油技術の最適な条件の検索及び実用化には不可欠な大量処理の可能性を次に検討した。

## II. 最適条件の検索及び大量処理化の検討

I. で述べた原料による搾油効率の差異は、原料成分の比較から種子水分の影響と予想されたため、種子水分による搾油効率を検討した。図 4 1 に各種子水分と脱殻効率及び搾油効率の関係を示す。脱殻後、水分の少ない殻が除去されたことと高水分の種子からは若干の水分減少があり、搾油時の原料種子水分は 6, 5.2, 4.8, 4.2% となった。搾油実験では水分が低下するにつれ若干減少し、逆に夾雑物の増加が認められた。しかし、脱殻時では水分 7.5% を越える場合、急激に効率が低下が認められ、脱殻を含んだ最適種子水分は 7.5% 付近と考えられる。

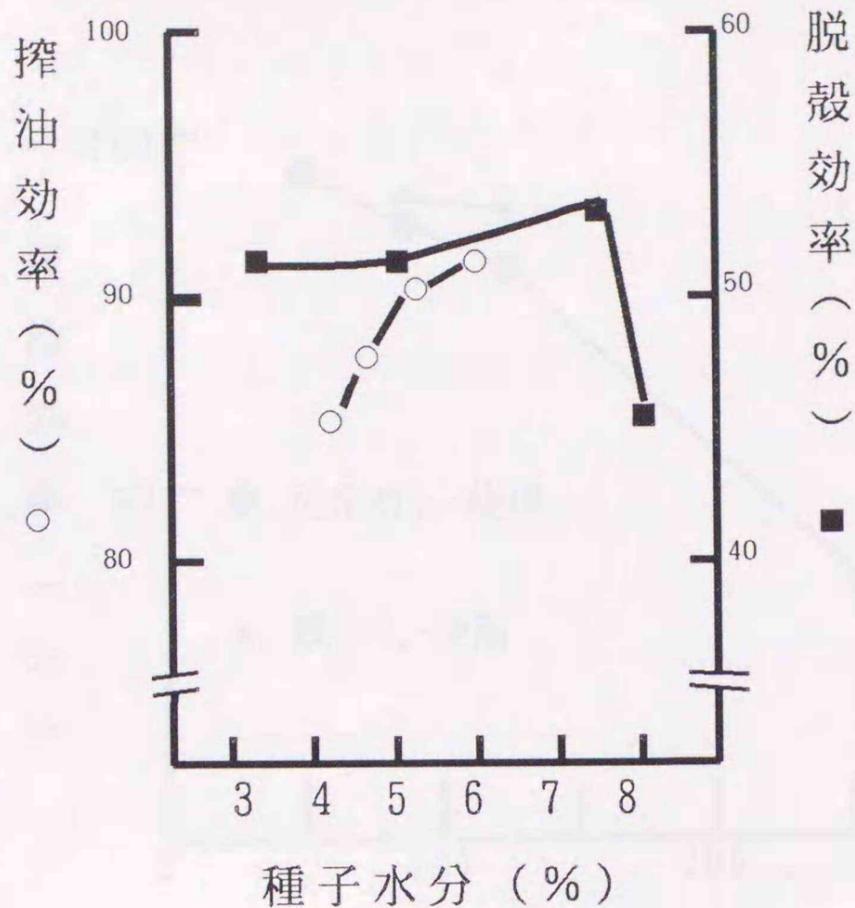


図 4 1 種子水分と脱殻効率及び搾油効率の関係

他にも種子性状（大きさ、形状、タンパクの変性度合い）によっても搾油条件が変化する事が予想され、今後検討する必要がある。

現在の 2 軸圧搾機の適正処理量はヒマワリ種子の場合で 50 ~ 120 kg/hr 程度であり、実際の製油における従来の 1 軸圧搾機の処理量に比べて非常に少ない。スクリー直径を増加すれば空間体積は理論的には半径の 2 乗に比例して増加することになるが、スクリー溝の深さをそれに応じて深くすることは効率低下を招く恐れがあるために適正な処理量の増加はそれより少なくなる。日処理量を数トンから 10 トン程度までにするにはスクリー直径を 2 ~ 3 倍にする必要がある。スクリー回転の増加によっても処理量増加を図れる。ここでは、スクリー回転を変化させ、処理量増加時の搾油効率の変化を検討すると共に、スクリー仕様を変更して、処理量増加時でも高い搾油効率を維持できる条件を検索した。

図 4 2 に示すように処理量を 80, 120, 250 kg/hr と増加させると、搾油効率は 86, 80, 39% と減少した。これは搾油機内部滞留時間の減少と

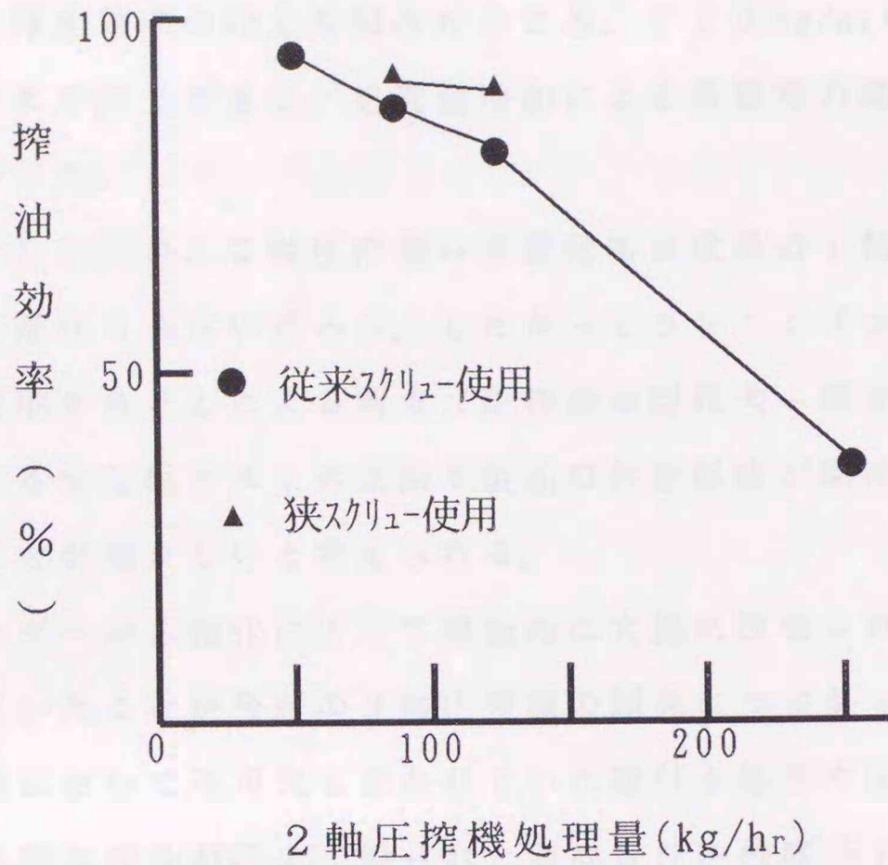


図 4 2 搾油処理量と搾油効率の関係

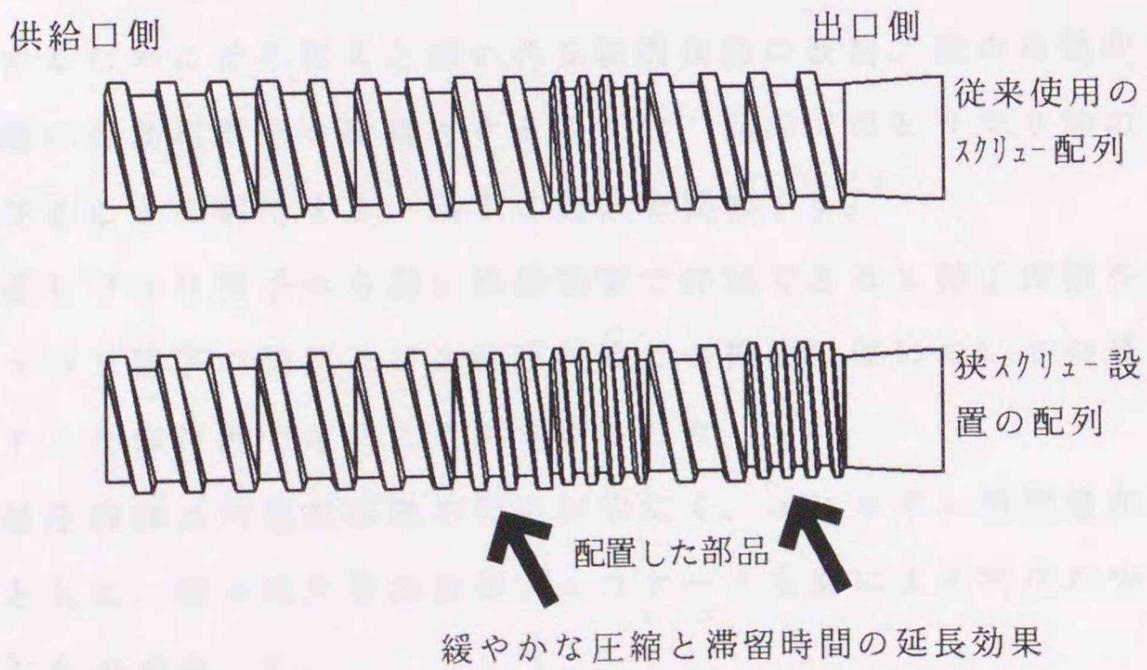


図 4 3 2軸圧搾機のスクリー仕様

圧力保持が不十分であったためと考えられる。したがって図43に示すように従来型を夾ピッチスクリーを使用した仕様に変更することで、滞留時間の延長を図ることで搾油効率の向上を試みたところ、120 kg/hrの処理量での搾油効率を88%にまで向上できた。処理量増加による消費電力量の上昇はほとんど認められなかった。

実用化を考慮した場合、2軸圧搾機の装置価格は従来の1軸圧搾機に比べて高くなることは避けられないだろう。したがってランニングコストの低減及び2軸圧搾機を使用することによる利点(圧搾油の回収率・原油及び圧搾残渣の品質向上)による全工程コストの低減や製品の付加価値が期待できるような材料に使用することが望ましいと考えられる。

エクストルーダーが2軸化によって機能的に大幅に改善されたことを我々が十分に理解していたことが今回の2軸圧搾機の開発につながった。結果として従来の搾油工程において不可欠と思われていた殻付き処理や加熱等の前処理を行わないで効果的な搾油が行え、得られた原油及び圧搾残渣も殻がないことや過大な熱処理を経ないことで品質的に良好で、付加価値の高いものを得られることが出来た。今後の課題として実用化への大型化等があるが、国内でのヒマワリ油の生産現状を考慮すれば、スクリー系装置の大きな特徴としての連続処理性によって現装置でも十分使用できると考える。さらには製品の付加価値を向上するためには不可欠と思われる脱殻技術の改善、殻の有効利用、そして搾油残渣の有効利用を今後検討することで、国内でのヒマワリ油の生産及び消費が伸びることを期待する。以下に結果を要約する。

- ア) 脱殻ヒマワリ種子から高い搾油効率で搾油できる2軸圧搾機を開発した。
- イ) ヒマワリ種子の脱殻及び2軸圧搾機での搾油工程における最適種子水分は7.5%付近であることが示唆された。
- ウ) 2軸圧搾機は内部摩擦熱の発生が少なく、エネルギー消費量が抑えられるとともに、得られた原油及びプレスケーキも熱による劣化が少ない品質良好なものであった。

4. 2. 2 ナタネ種子の搾油実験

ナタネ油は大豆油に次いで我国の生産量は多く、年間約150万トンのナタネ（カノーラ種）がカナダから輸入されている。種子の油分は概ね40%程度であり、まず1軸の圧搾機で搾油が行われ、次いで溶媒抽出を行い、得られた原油は精製工程を経て精製油となる。本研究では2軸圧搾機の移送能力と破碎効果によって通常のナタネの搾油処理に不可欠な前処理（圧扁及び熱処理）を経ないで効率的に搾油することでのコスト低減と熱処理による品質の劣化を抑制することを目的として実験を行った。通常の製油工程及び2軸圧搾機での試みを図44に示した。

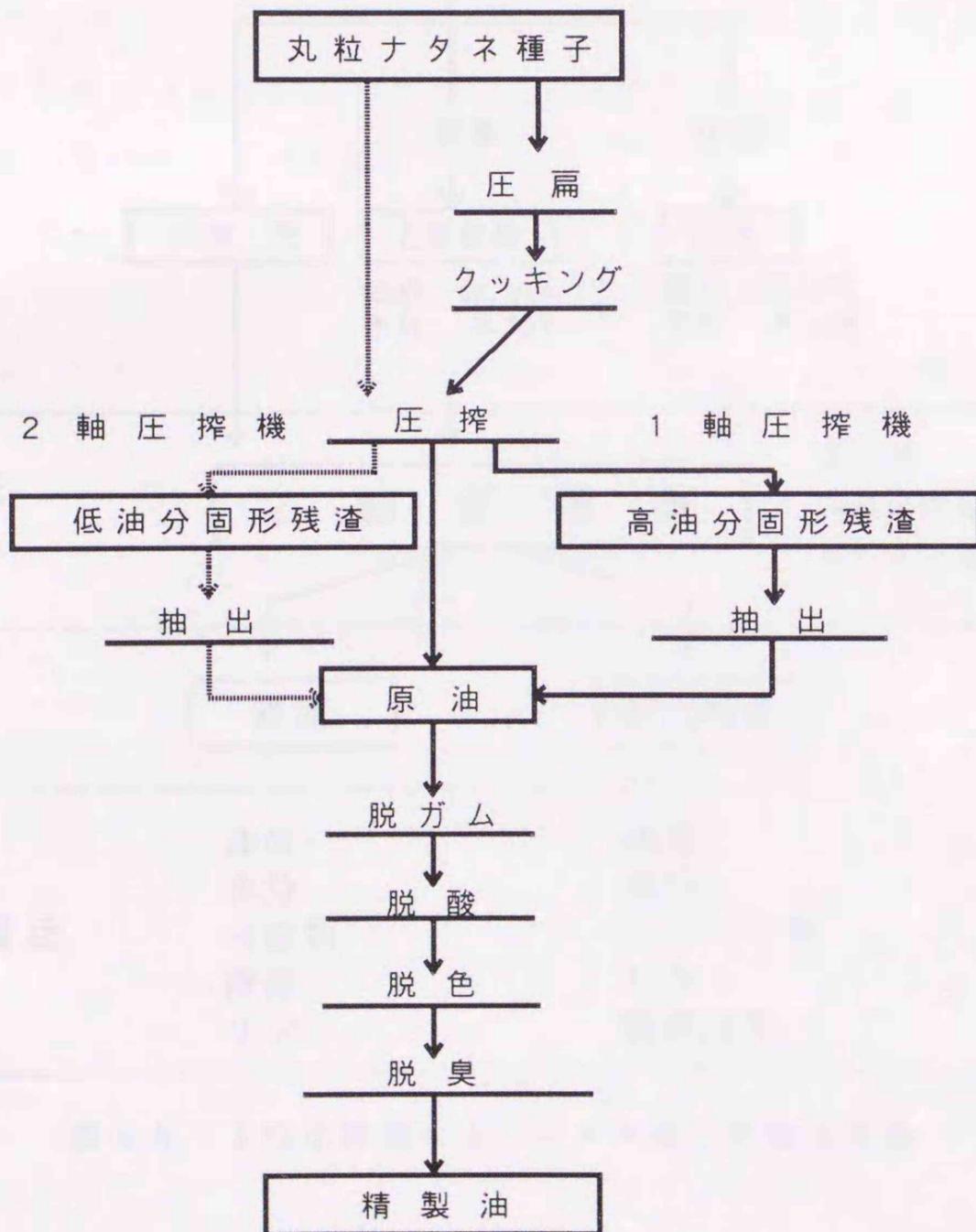


図44 ナタネ種子の搾油工程（通常法と2軸圧搾機使用法）

(1) 実験方法

I. 実験材料

ナタネはカナダ産カノーラ種を原料として用いて搾油実験を行った。ナタネについては脱殻処理を行わなかったが、通常の搾油処理時に必要とされている圧扁・加熱処理を行ったものと未処理のものなど3種を原料とした。

II. 実験手法

図45に実験手順を示す。搾油実験における検討項目は4.2.1のヒマワリ種子の搾油実験と同様である。

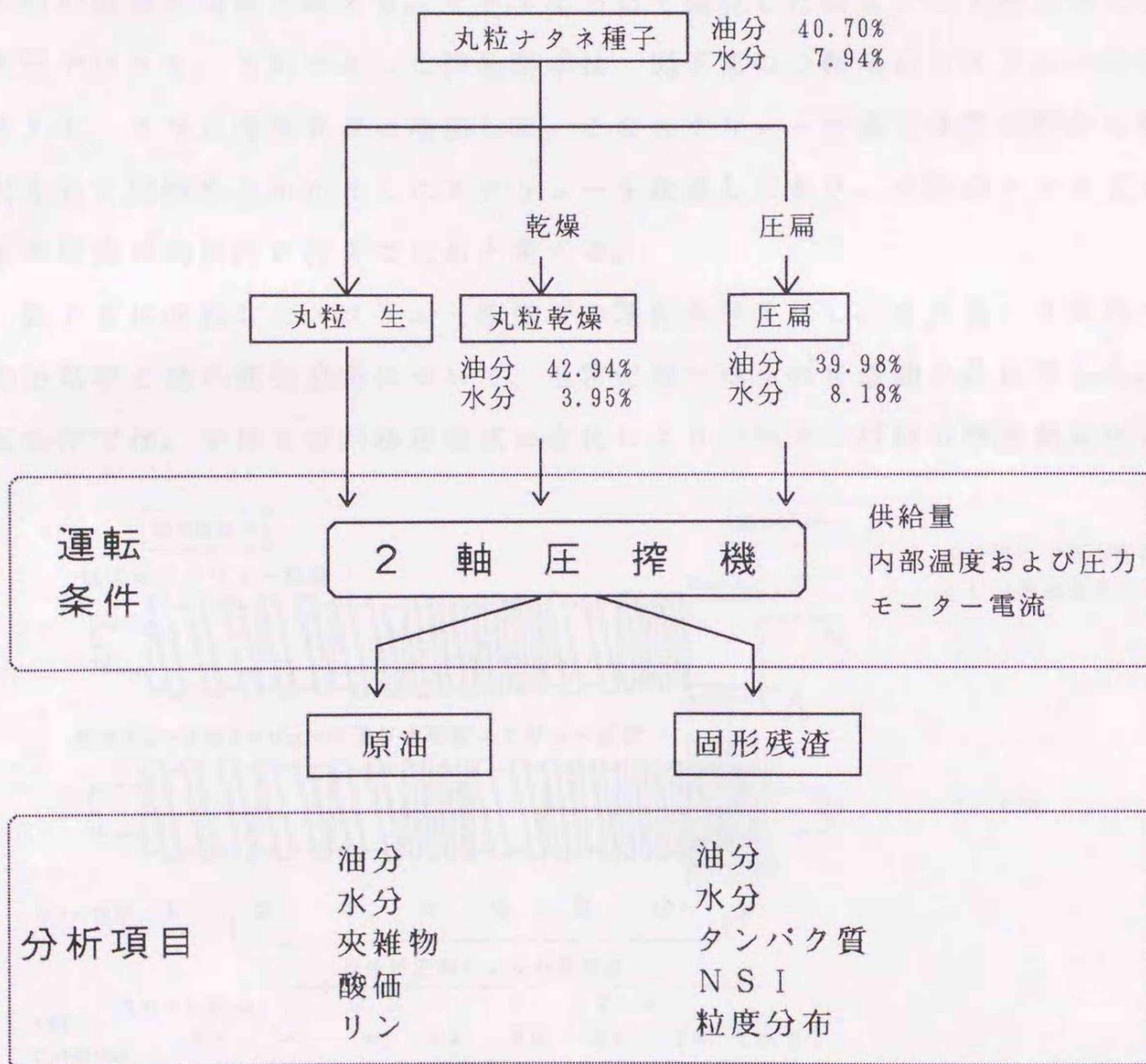


図45 2軸圧搾機によるナタネ種子の搾油実験

(2) 実験結果及び考察

試作した2軸圧搾機はヒマワリ種子からの搾油用に開発したものである。図

4 6 上部に示したスクリーも相互のスクリー間隙をヒマワリ種子の平均粒径に合わせて6 mmに設置してある。そのため他の油糧種子に利用した場合、ゴマやナタネなどの小粒では間隙が大きくて破碎効果があまり期待できない。逆にパーム核やツバキなどの種子においては間隙及びスクリーチャンネルが種子の大きさに比べて満足な連続供給が困難なことが予想される。したがって他の種子に合わせたスクリー間隙及びチャンネル長の選択が必要であるが、前処理を必要とする殻がうすく柔らかいゴマやナタネの種子や、香りを大切にするゴマやラッカセイにおいて、加熱処理などの前処理無しで効率的な高品質原油の獲得が可能と考える。ナタネについて検討した図4 6の上部に示した従来型では55.2%であった搾油効率は、図下部の小粒用のスクリー仕様では71.0%と搾油効率は増加した。このスクリー仕様では⑦の部分に軸を太くして間隙を3 mmとしたスクリーを設置しており、小粒のナタネでも種子の破碎が効果的に行えたためと考える。

表1 8に改良したスクリー構成での運転条件を示し、また表1 9に各々の搾油効率と油の成分分析について、通常処理で得られた原油と共に示した。運転条件では、やはり材料移送様式の変化により内部での材料の摩擦熱発生によ

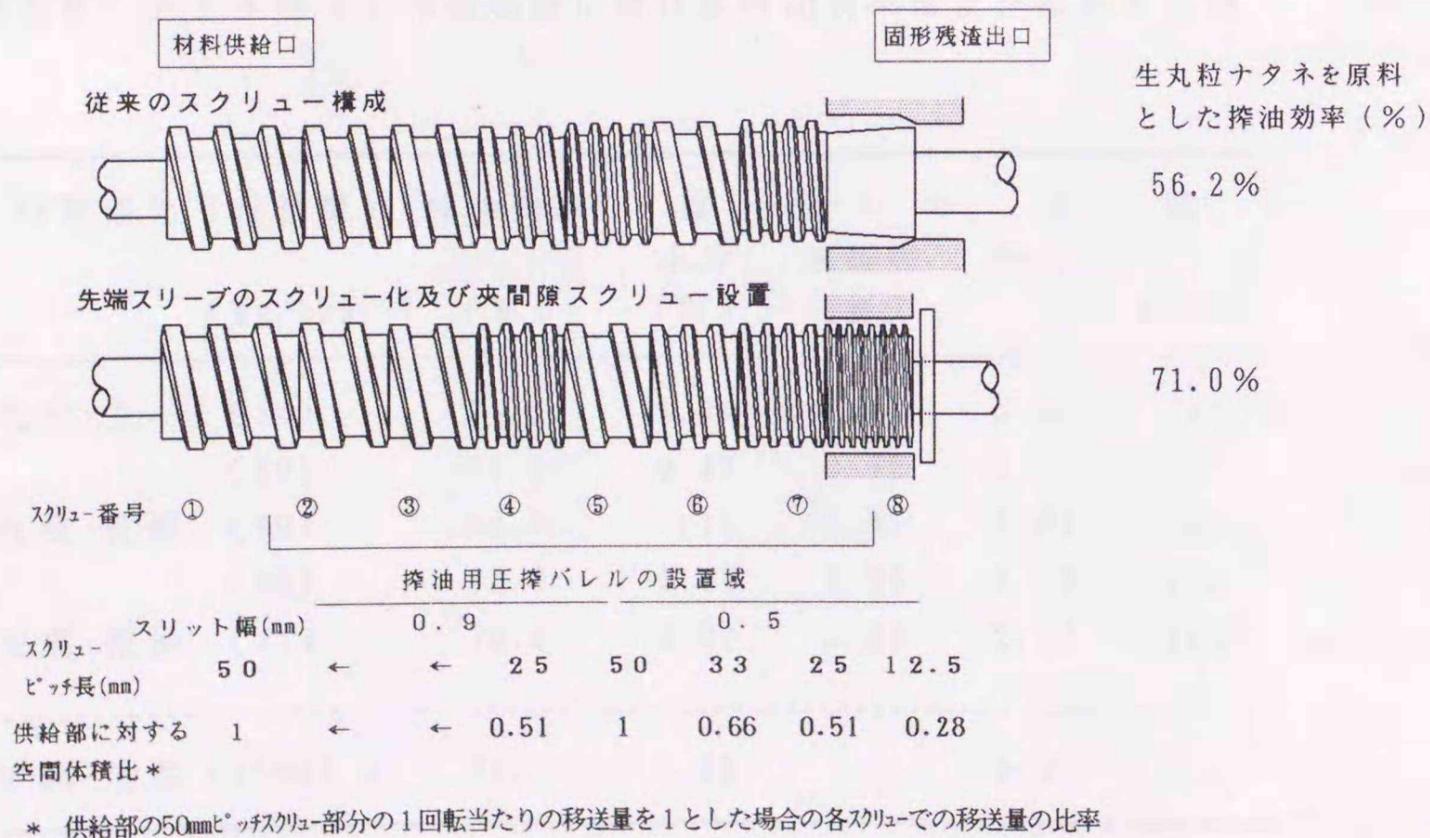


図4 6 ナタネ種子の搾油実験に用いたスクリー配列

表 1 8 ナタネ種子の搾油実験の圧搾条件

使用圧搾機	材料条件	供給量 (kg/hr)	バレル内温度 (°C)		バレル圧力 (MPa)
			供給側	出口側	
2 軸圧搾機	丸粒・生	54	32.2	71.8	-
		90	32.4	73.7	3.8
	丸粒・乾燥	60	34.8	81.0	0.2
		90	43.9	89.0	0.9
	圧扁・乾燥	42	36.1	93.4	0.3
1 軸圧搾機*	圧扁・加熱	7500	105.0	125.0	-

\* 実用プラントでの使用時の値

表 1 9 ナタネ種子の搾油実験における搾油効率および原油の品質

材料条件 (供給量)	搾油効率	原油の品質			
		水分 (%)	夾雑物 (%)	酸価	リン (PPM)
(kg/hr)	(%)	(%)	(%)		(PPM)
丸粒・生 (54)	65.2	1.06	0.67	2.22	89
	(90)	71.0	0.67	0.72	1.12
丸粒・乾燥 (60)	52.8	1.12	0.51	2.64	100
	(90)	81.0	0.69	0.95	1.12
圧扁・乾燥 (42)	70.5	0.70	2.00	2.56	134
圧扁・加熱 (7500) *	71.1	0.98	-	2.31	475

\* 実用プラントでの 1 軸圧搾機使用時の値

る温度上昇は認められなかった。また圧力の発生も適切なものであるために、夾雑物の原油への混入量が少ないことが表19で示された。搾油効率も丸粒のままでも通常の圧扁・加熱処理を行った場合と同等の搾油効率を得られた。搾油効率は処理量の大小により、特に丸粒で変化しており、これは内部での材料充填度合いによる破碎効果の差を考えられ、図47の圧搾残渣の粒度分布が、これを裏付けている。また原油は、現場での1軸型の装置で得られた原油とその成分を比較したところ、特にリン分の少ないものであることが確認された。リン分の少ない原油が得られたことは、材料の前処理が無いことにより、材料の粉碎、圧搾処理が短時間で出来るためにホスフォリパーゼの働きを抑制したことが示唆される。リン分の少ない原油は脱ガムや脱酸工程での原油のロスを抑えるとともに処理での廃液量を低下されることが出来るために、精製工程でのコスト低減が期待できる。この結果より、通常の搾油前処理として行う圧扁・加熱処理を行わず、高い搾油効率を得られ、圧搾残渣の溶媒での抽出効率も良好であったため、スクリーの変更や運転条件によりナタネ等の他の油糧種子でも十分に利用できることが確認された。

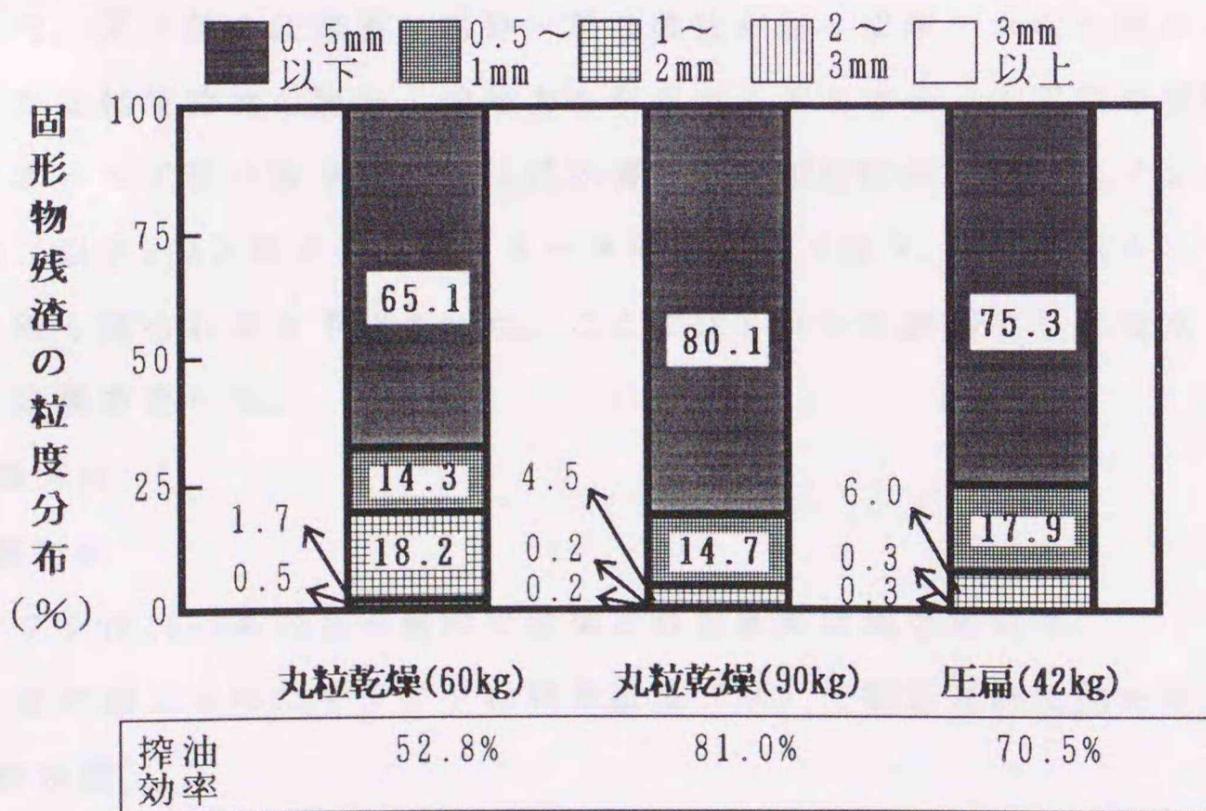


図47 ナタネ種子の搾油受験における圧搾残渣の粒子分布

## 4. 3 魚油の製造

### 4. 3. 1 イワシの脱水及び搾油実験

現在、水産油糧（以下魚油と限定）の製造方法としては、原料→ボイル→プレス→遠心分離（図48）の方法で行われている。この工程において大規模に行う場合ボイルという工程にはエネルギーが非常に多く必要であり人手も必要である。プレスの工程においてはこの工程により魚油の収率が大きく左右される。又、魚油を得た残渣は魚粉として家畜・水産養殖の飼料及び肥料に用いられることから残渣の乾燥が必要である。残渣を乾燥させるためのエネルギーは残渣に含まれる水分が少なければ少ないほど低くすむ。そこで魚油製造工程でのプレス工程が重要となる。以上の理由から魚油製造工程の省エネルギー化及び効率化するために開発した2軸圧搾機を魚油製造に用いることを試みた（図49）。

現在プレスに使用される圧搾機は1軸の圧搾機がほとんどであるが1軸の圧搾機は材料の移送能力が低く、移送能力を高めるためには機械の大型化が必要であった。又1軸の圧搾機は粉碎・圧縮機能が弱く収率がかなり低かった。先に述べた2軸圧搾機の脱水・搾油力を利用することでボイル工程の省略を検討した。ボイル工程の省略は熱に比較的弱い不飽和脂肪酸、特にエイコサペンタエン酸（以下EPAと略す）、ドコサヘキサエン酸（以下、DAHと略す）を崩壊すること無く得られると予想された。ここではイワシを材料として脱水・搾油を行った結果を述べる。

#### (1) 実験方法

##### I. 実験材料

マイワシは1989年12月千葉沖で漁獲された新鮮な物を用いた。

落とし身に加工されたマイワシは林兼産業（株）で製造された物を用いた。

##### II. 実験装置

4. 2まで使用された2軸圧搾機を使用した。

##### III. 試料の調整

材料をボイルする場合はステンレス製ホットニードラー（（株）八重洲食機製作所）で100℃10分間ボイルした後ザルを用いて固形・液体を分離した。

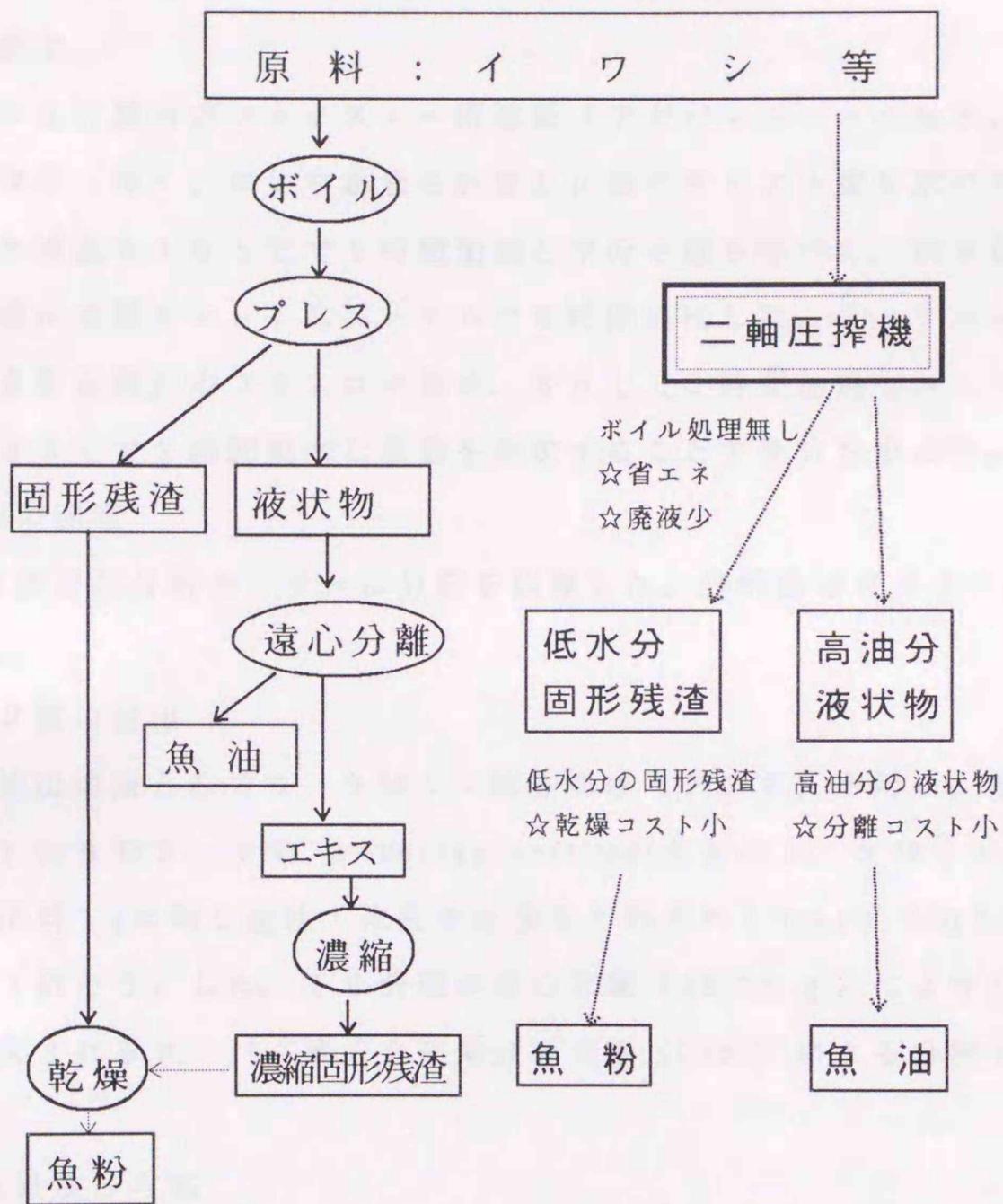


図 4 8 魚油・魚粉の製造工程（通常法と 2 軸圧搾機使用法）

#### IV. 実験条件

2 軸圧搾機（3 章で説明）にイワシ、ボイルイワシ、イワシ（落とし身）、ボイルイワシ（落とし身）を 60 Kg/hr の供給量で投入し、得られた搾汁液及び固形物を回収し、試料として水分、油分、タンパク質変化及び得られた脂質の脂肪酸組成について検討を行った。

#### V. 試料の分析

##### 1. 水分の測定

水分は試料を計量したアルミホイルにのせ、全重量を測定した後 105℃で

24時間以上加熱した。加熱終了後、デシケーターにて室温まで冷却し、計量を行い、水分量を求めた。

## 2. 油分の測定

サンプルを計量済のソックスレー用濾紙（アドバンティックNo. 8、アドバンティック東洋（株））にいれ重量を計量し正確なサンプル量を求めた。サンプルの入った濾紙を105℃で1時間加熱し水分を取り除いた。脱水後ソックスレー抽出機に濾紙をセットしエーテルで6時間抽出した。ソックスレーで抽出された油を重量既知のフラスコに集め、80℃で2時間加熱しエーテルを除去した後105℃で2時間脱水し重量を測定することで油分を求めた。

## 3. DHA, EPAの測定

（財）日本食品分析センターに分析を依頼した。分析法はガスクロマトグラム法である。

## 4. タンパク質の抽出

未変性抽出溶液として0.3Mリン酸緩衝液（PH7）を用い、変性抽出溶液として1%SDS、1%2-Mercaptoethanol含有の0.3Mリン酸緩衝液を用いた。試料1gに対し変性・未変性溶液をそれぞれ10mlずつ加え室温で20時間攪拌（振とう）した。10分間の遠心分離（4800×g）により沈澱を除去し上澄に含まれるタンパク量を全窒素分析装置（LECO）による分析した。

## (2) 実験結果及び考察

今回の2軸圧搾機のスクリー構成は4.2での図4.6下部に示したものと同様である。

### I. イワシ、ボイルイワシの圧搾

表2.0にイワシ、ボイルイワシの圧搾による水分・油分の変化を示した。2軸圧搾機で得られた圧搾機の油分は、イワシが34.5%、ボイルイワシが38.3%といずれも高い値を示した。残渣の水分は、イワシが49.9%と最初の原料と比較し82.8%、ボイルイワシが51.3%と最初の原料と比較し92.7%に減少した。最初の水分が高いほど圧搾効果が高くなった。又加熱した方が原料の油分が少ないにもかかわらず多くの油が得られた理由として加熱によりタンパク質が変性・凝固しそれまでタンパク質と結合していた油分

が容易に離れたと考えられた。

表 2 0 2 軸圧搾機の圧搾処理によるイワシの水分及び油分の変化

(単位 %)

材料・処理法	材料中		固形物中		液状物中	
	水分	油分	水分	油分	水分	油分
イワシ ボイル処理	60.2	20.1	55.3	16.7	96.6	2.6
ボイルイワシ 圧搾処理	55.3	16.7	51.3	15.3	55.4	38.3
イワシ 圧搾処理	60.2	20.1	49.9	16.3	59.6	34.5

EPA・DHAの分析結果を表 2 1 に示した。2 軸圧搾機処理前後でEPA・DHAの含量にはそれほど大きな差はみられなかった。しかしイワシの煮汁の分析結果ではEPA・DHAともに含量が減少した。これはボイルによりタンパク（魚肉）からの油の分離は、不飽和脂肪酸が、飽和又は分離することで容易に生じると思われた。煮汁のEPA・DHA含量は少ないがボイルイワシの圧搾により得られた油のEPA・DHA含量に差がないことから同様のことが予想された。

表 2 1 ボイル・圧搾処理によるイワシの EPA・DHA の変化

(単位 %)

	イワシ	イワシ 煮 汁	イワシ 圧搾液	ボイルイワシ 圧 搾 液
E P A	13.0	12.8	13.7	14.0
D H A	13.0	11.2	12.4	13.1

II. イワシ（落とし身）、ボイルイワシ（落とし身）の圧搾

表 2 2 にイワシ（落とし身）、ボイルイワシ（落とし身）の圧搾による水分・油分の変化を示した。圧搾後の水分変化は落とし身で 87.7%、ボイル落とし身で 93.3% に減少した。表 2 0 の場合と比較しても原料の水分の多少にもかかわらず 2 軸圧搾機の圧搾では水分は 50～55% 程度まで減少することが認められた。油分については落とし身の残渣にはわずか 6.8% しか残らなかった。圧搾汁の油分がイワシを用いた場合と比較してやや少ないようにみえるが、これは原料イワシの油分が少なかったためと考えられる。現在いわしの有効利用としてイワシの油を有機溶媒で完全に脱脂し臭いも味もないタンパク濃縮物を作るという試みが行われている。この 2 軸圧搾機を用いて脱脂したいわし残渣は僅かに油分が残っている程度で乾燥すればタンパク濃縮物となり食品として利用価値が増加すると思われる。又、有機溶媒を用いなければ製造プラントの規模も小規模ですむという利点もあげられる。

表 2 2 2 軸圧搾機によるイワシ（落とし身）の水分・油分の変化

(単位 %)

材料・処理法	材料中		固形物中		液状物中	
	水分	油分	水分	油分	水分	油分
イワシ落とし身 ボイル処理	62.5	17.6	58.8	17.3	88.2	4.3
ボイルイワシ 圧搾処理	58.8	17.3	54.9	6.8	63.5	28.6
イワシ落とし身 圧搾処理	62.5	17.6	54.8	13.8	57.0	29.4

EPA・DHAもイワシの場合と同様に変化は認められなかった。圧搾により得られた残渣のタンパク質がどの程度変性しているかを抽出緩衝液で抽出することで調べた（表 2 3）。抽出緩衝液は未変性緩衝液と変性緩衝液（S D S, 2-Mercaptoethanolを含む）で溶解させた。加工しない状態、すなわち落とし身の状態が最もタンパク質が溶出しやすいがボイル又は圧搾処理するとタンパク質は不溶化した。ボイル工程も圧搾工程もタンパク質に与える影響は同程度であるがボイル後圧搾したイワシが最もタンパク質の変性が大きかった。

表 2 3 圧搾処理による抽出タンパク量の変化

(単位 %)

試料名	抽出タンパク量*	
	リン酸緩衝液**	S D S 緩衝液***
(圧搾材料)		
イワシ落とし身	0 . 4 2	1 . 4 0
ボイルイワシ	0 . 2 4	0 . 5 8
-----		
(圧搾固形物)		
イワシ落とし身	0 . 1 8	0 . 5 1
ボイルイワシ	0 . 2 0	0 . 4 8

\* 試料 1 g を抽出溶液 1 0 m l に入れ、室温で 2 0 時間攪拌後、遠心分離 (4800 × g, 1 0 分) で上澄み液の窒素量を測定、試料中の抽出タンパク量を重量比で表したものの

\*\* p H 7 のリン酸緩衝液 (0 . 3 M)

\*\*\*上記のリン酸緩衝液に 1 % S D S、1 % 2 - Mercaptoethanol を加えたもの

2 軸圧搾機を用いてイワシそのまま及び落とし身を圧搾し脱水・搾油を行った。上述のようにかなり良好な結果が得られた。しかし、この 2 軸圧搾機は現在なお様々な分野への適用を検討中であり、今回の魚油製造のプロセスについても実用化に向けての課題は多い。1 つにはスリット間隙 (フィルター) の目詰まりの問題であり、この問題は装置の連続性が作業効率向上に不可欠なことを考慮すれば、実用化への大きな問題点と言える。しかし、現在はバレルの形を変えたり、スリットにエアーを送り目詰まりしないような工夫を既に行っており、効率的な連続性が確保されればイワシ (イワシに限らず全ての魚種) の脱水・搾油は作業効率が増加し極めて有用な技術になると考えられる。

本研究は2軸エクストルーダーを用いた食品加工に関するものであり、現在までその形成理由が明かでなかった高水分のタンパク組織化物の成因を明らかにし、組織化物の製造の新技术を開発することと、この2軸エクストルーダー技術の効用展開の検索として、圧搾機への適用を図り、その効果を検討することを目的とした。

以下に章毎に得られた結論を要約する。1章では序論として、本研究で対象としたエクストルーダーおよびスクリーン圧搾機の構造および関連研究の状況を説明した。また本研究の目的についても述べた。2章では2軸エクストルーダーによる組織化製造において、脱脂大豆粉を材料として実験を行い、その組織化構造は材料の熱溶解による物性変化によることを論じた。また、そのようなタンパク質の持つ性質を利用することにより、タンパク質の射出成形法を射出成形用金型装置の開発に含めて検討を行い、より大型化した組織化物の製造に成功した。2軸エクストルーダーによる、これらのタンパク質を主成分とした組織化構造の製造が大豆タンパク以外にも魚肉等についても可能であることを確認するとともに、これらの結果から組織化物の繊維性の構造は2軸エクストルーダー内部でのタンパクの溶解、そして冷却ダイ部での粘度上昇による内部速度分布の不均一さから生じた材料の延伸によって配向した繊維構造を形成することを示唆し、モデル化した。そしてその繊維性構造には主成分となるタンパク以外に材料の粘度や流動性を調節するための他成分やアルコールなどが効果があることを明らかにした。

3章では2軸エクストルーダー技術を応用した2軸圧搾機の開発について述べた。2軸エクストルーダーの持つ様々な機能のなかで、優れた材料移送性、さらに混合・粉碎・圧縮作用を利用した異方向回転不完全噛み合い型の2軸圧搾機を試作した。この2軸圧搾機は、液状物の分離を行う圧搾バレルの構造も、そのフィルターの間隙の設定、さらには圧搾バレル長の調整・組立・分解を容易にした従来装置にはない縦型スリット方式を採用した。

4章では開発した2軸圧搾機による油糧種子からの搾油処理を行い、従来法よりも効率的な油の回収及び工程コストの低減につながる前処理の省略、夾雑

物の少ない原油の回収を確認された。ヒマワリ種子では、脱殻種子を材料として93.6%の搾油効率での搾油が確認された。また脱殻種子を用いることで、得られる原油の品質の向上・精製コストの低減、殻を含まない高タンパク質の食品素材等に利用できる付加価値の高い搾油残渣を得る可能性が示された。またナタネ種子では通常の搾油工程で必要な圧扁・加熱処理といった前処理を経ないで通常法と同様、あるいはそれ以上の搾油効率での搾油が確認された。さらに鰯の魚油搾油においての通常では不可欠な煮沸処理等を必要としない低コストでの魚油製造法の開発の可能性が示唆される実験結果を得た。これらの実験結果は今後の食品産業での高水分材料、副成物からの低コスト、高分離効率の脱水処理への適用を期待させている。既に搾油・搾汁工程での2軸圧搾機の利用は、現在、本装置を試作した機械メーカーを通じて実用化への検討化が進んでいる。

以上が本研究での成果であり、2軸エクストルーダーでの今後のタンパク組織化物の製造及び素材開発、固液分離処理工程での2軸圧搾機等の利用拡大等において何らかの参考になれば幸甚である。

引用文献

- 1) 製菓時報, 昭和59年11月26日刊(1984)
- 2) W&P資料 (ドイツ)
- 3) 村瀬敏朗他, 食品工学基礎講座7 固液分離, 96, 光琳(1988)
- 4) 阿部芳郎監修, 油脂・油糧ハンドブック, 幸書房(1988)
- 5) Harper. J. M, Food Technol., 32(7), 67(1978)
- 6) Harper. J. M, Crit. Rev. Food Sci. Nurtri., 11(2), 155(1979)
- 7) Tribelhorn. R. E et al, Cereal Foods Worlds, 25, 154(1980)
- 8) 野口明德, 食品と技術, No. 11, 3(1985)
- 9) 三菱化工機資料
- 10) Martelli. F, Twin-Screw Extruders, 11, Van Nostrand Reinhold Company  
(1983)
- 11) Booy. M. L, Polimer Engineering and Science, 18, 973(1978)
- 12) US Patent, 3, 968, 268(1976)
- 13) 木村進ら監修, 食品加工の革新技術, 149, シ-エム-シ- (1984)
- 14) Tadmor. z, et al, Engineerin Principle of Plasticating Extrusion,  
Van Nostand Reinhold(1970)
- 15) Harper. J. M, Extrusion of Foods, Vol. 1, CRC Press(U. S. A.)(1981)
- 16) 森 芳郎, 化学機械技術, 19, 51, 丸善(1961)
- 17) Launay. B et al, Extrusion cooking Symposium 7th World Cereal and  
Bread Congress Prague(1982)
- 18) Fletcher. S. L et al, Engineerin and Food ed. B. Mckenm, Applloed Science  
(1984)
- 19) Gomez. M. H et al, J. Food science, 48, 378(1983)
- 20) Linko. P et al, Thermal processing and quality of foods, Edi. P. Zeuthen  
et al, Elsevier Applied science Publishers, 122(1984)
- 21) Seiler. K, Thermal processing and quality of foods, Edi. P. Zeuthen  
et al, Elsevier Applied science Publishers, 106(1984)
- 22) Colonna. P et al, Thermal processing and quality of foods, Edi.  
P. Zeuthen et al, Elsevier Applied science Publishers, 106(1984)

- 23) Van de Voort. F. R et al, J. Dairy Sci., 67, 749(1984)
- 24) Melcion. J. P et al, Thermal processing and quality of foods,  
Edi. P. Zeuthen et al, Elsevier Applied science Publishers, 1452(1984)
- 25) Meuser. F et al, Thermal processing and quality of foods ed.  
Zeuthen. P et al, Elsevier Applied science Publishers, 127(1984)
- 26) W&P資料 (トイツ)
- 27) 北川雅彦ら, 北水試月報, 44, 151(1987)
- 28) 北川雅彦ら, 北海道立水産試験場研究報告 31, 63(1988)
- 29) 白戸紋平ら, 化学工学, 34, 496(1970)
- 30) US Patent, 2, 119, 162(1938)
- 31) US Patent, 3, 460, 466(1969)
- 32) US Patent, 3, 461, 793(1969)
- 33) 村瀬敏朗他, 食品工学基礎講座 7 固液分離, 93, 光琳(1988)
- 34) 白戸紋平ら, 化学工学論文集, 9, 3, 302(1983)
- 35) 日本油脂協会, 製油要覧1972年版(1972)
- 36) Singh, M. S et al, Transac. ASAE 27, 1190(1984)
- 37) Mrema, W et al, J. Agric. Engng. Res., 31, 361(1985)
- 38) Stein, W et al, J. Am. Oil Chem. Soc., 53, 283(1976)
- 39) Galloway, J. P, J. Am. Oil Chem. Soc., 53, 271(1976)
- 40) Atkinson, W. T, US Patent, 3, 488, 770(1970)
- 41) Rhee. K. C et al, Protein Functionality In Foods, 52(1981)
- 42) Hashizume. K et al, Agric. Biol. Chem., 43, 683(1979)
- 43) Noguchi. A et al, 日本食品工業学会誌, 30, 114(1983)
- 44) 瀬戸正二, 射出成形 第8版, 17他, フラスチックエージ(1984)
- 45) Janssen. L. P. B. M, Twin screw Extrusion, 36, Elsevier Scientific  
Publishing Co. (1978)
- 46) 函館水産連合協議会, ブナザケの特性と加工法(1984)
- 47) 上村俊一, New Food Industry, 26, 10, 4(1984)
- 48) 北川雅彦ら, 北海道立水産試験場研究報告 32, 19(1989)
- 49) Suzuki. H et al, J. Food Sci., 53, 1659(1988)

- 50) 食品産業エクストルージョンクッキング技術研究組合, エクストルージョンクッキング, 217, 光琳(1988)
- 51) Tolstoguzov. V. B et al, J. Agric. Food Chem., 33, 151(1985)
- 52) Stanly. J et al, Extrusion Cooking, 321, AACCC(1989)
- 53) Smith. J et al, Prog. Food. Nutr. Sci., 6, 139(1982)
- 54) Gwiazda. S et al, Food Microstructure, 6, 57(1987)
- 55) 日本油化学協会, 基準油脂分析試験法(1978)

## 謝辞

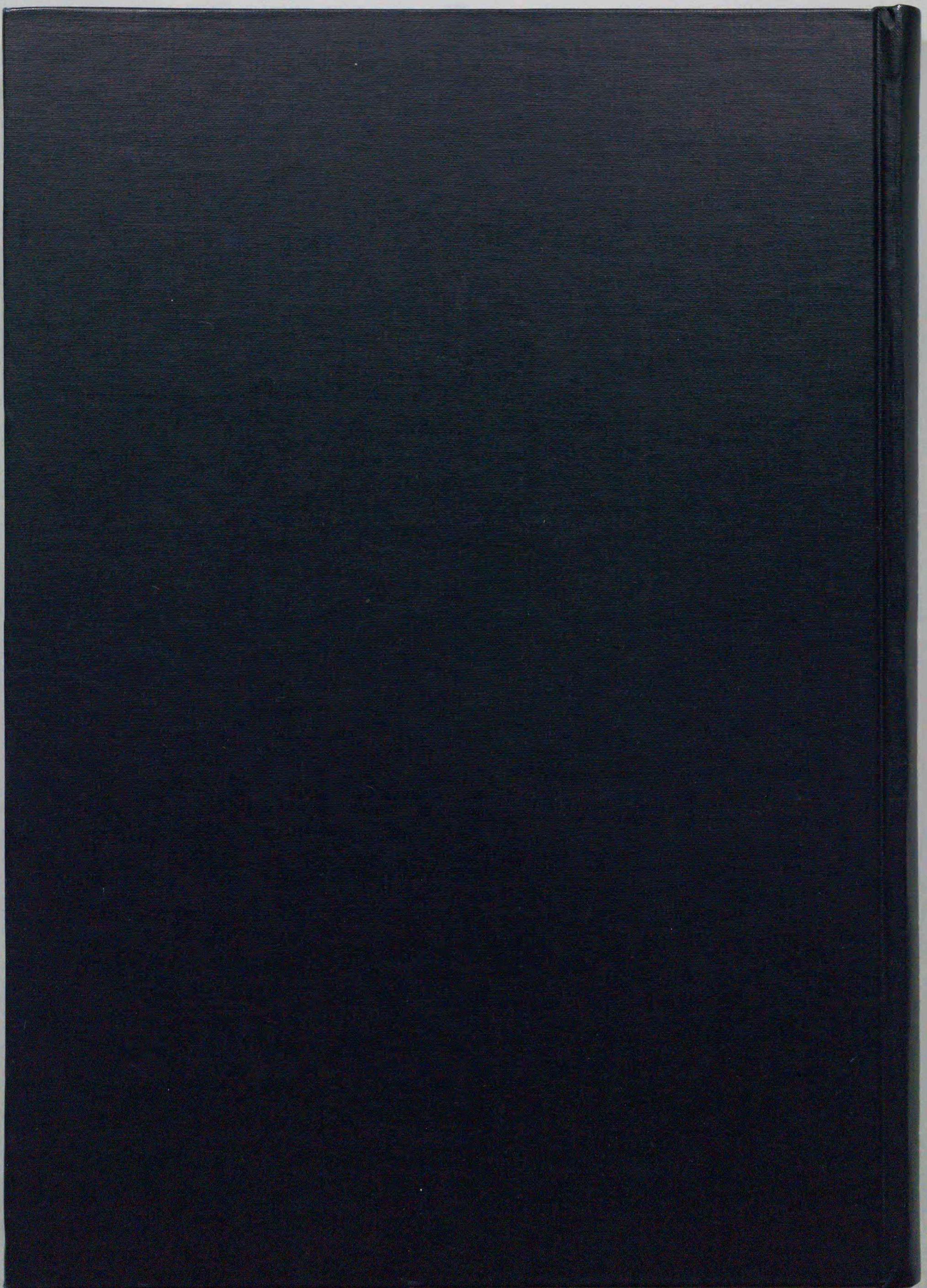
本研究にあたり、終始御懇切なる御指導・御教授を賜りました北海道大学農学部教授 伊藤和彦先生に心から深甚の謝意を捧げます。

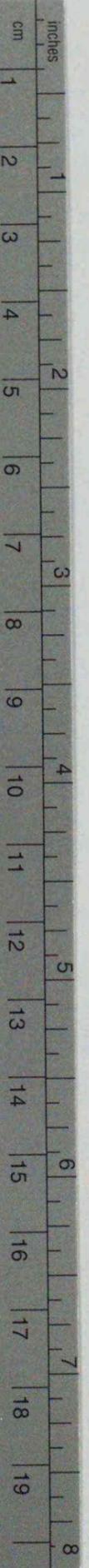
また、終始有益なる御助言・御指導を賜りました北海道大学農学部教授 堀口郁夫先生及び北海道大学農学部教授 仁木良哉先生に心からの深甚の謝意を捧げます。

なお、本研究は、ほとんどが農林水産省食品総合研究所において行ったものであり、本研究において終始御指導を賜りました食品総合研究所 梅田圭司所長、岩元睦夫食品工学部長に心から深謝いたします。また野口明德製造工学研究室長には本研究の多くの部分において、上司そして共同研究者として御指導を賜りました。ここに厚く感謝いたします。

また本研究に際しまして、農林水産省食品総合研究所食品工学部製造工学研究室の研究員の植村邦彦氏をはじめ、研究室に滞在した多くの研修生及び海外からの客員研究員の皆様に多大なる御協力をいただきました。ここにあらためて深く謝意を表します。

また、本研究に先立ち、農業工学について御教授いただきました北海道大学農学部前教授 堂腰 純先生に厚く感謝いたします。





# Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak

Blue	Cyan	Green	Yellow	Red	Magenta	White	3/Color	Black
Light Blue	Light Cyan	Light Green	Light Yellow	Light Red	Light Magenta	White	Light Skin	Black
Dark Blue	Dark Cyan	Dark Green	Dark Yellow	Dark Red	Dark Magenta	White	Dark Skin	Black

# Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

- A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

