

# 連続蒸解プロセスの進歩

メッツォペーパージャパン株式会社 プロジェクト部 具 延

|                                | 頁  |
|--------------------------------|----|
| 1. はじめに-----                   | 2  |
| 2. 連続蒸解釜の変遷-----               | 3  |
| 3. 連続蒸解プロセスの変遷-----            | 4  |
| 4. 連続蒸解システムのフィード系技術の変遷-----    | 7  |
| 5. 1ベッセル釜の低温蒸解技術-----          | 8  |
| 6. 広葉樹のクラフトパルピングプロセスの最適化-----  | 9  |
| 7. COMPACT COOKING™蒸解プロセス----- | 12 |

この資料は、平成 19 年 10 月 9 日に開催された紙パルプ技術協会年次大会前日講演会「製紙産業技術 30 年の変遷」での講演記録を基にまとめたものである。資料中のすべての図の著作権は講演者に属し、無断使用・複製等をご遠慮ください。

## 講師略歴

|                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1978年7月-1982年8月 | 中国大連軽工業学院 化学工学科 製紙パルプ専攻で卒業。 |
| 1995年4月-1997年3月 | 筑波大学 農学研究科 林産化学研究室で修士課程卒業。  |
| 1997年4月-2000年3月 | 筑波大学 農学研究科 林産化学研究室で博士課程卒業。  |
| 2003年1月-2007年8月 | 旧クヴァナパルピング(株)でプロセス担当        |
| 2007年9月-        | メッツォペーパージャパン(株)で技術サポート      |

## 1. はじめに

ただいま紹介いただきました、メッツオペーパーの具と申します。どうぞよろしくお願いいたします。今回は、「連続蒸解プロセスの進歩」を表題として発表します。

はじめに連続蒸解システムの発明、次に、連続蒸解システムの構成、そして、連続蒸解釜の変遷を話します。この中では、1ベッセルの液相蒸解釜、1ベッセルの気相・液相蒸解釜、2ベッセルの気相・液相蒸解釜、2ベッセルの液相蒸解釜を紹介いたします。

次に、連続蒸解プロセスの変遷を話します。この中では、コールドブローの技術、ハイヒート洗浄技術、MCC蒸解プロセス、EMCC蒸解プロセス、ITC蒸解プロセス、ローソリッド蒸解プロセス、BLI蒸解プロセスを紹介いたします。次に、連続蒸解システムのフィード系の技術の変遷を紹介いたします。その次に、1ベッセルの気相/液相釜の低温蒸解技術、ついで、広葉樹のクラフトパルピングプロセスの最適化、最後には、コンパクトクッキング蒸解プロセスについて、紹介いたします。

連続蒸解のシステムは、ヨハン・リヒター (Johan Richter) が 1938 年に一つの考案を行い、それに基づいて、日産 20 トンのパイロットプラントが旧カミヤ社にて開発されました。それが出発点としてさまざまな蒸解プロセスに発展しました。

右図には連続蒸解システムのフローを示します。まずチップはチップコンベアからチップビンに送られここで約 80°C まで予熱され、チップメーターで計量されて、低圧フィーダーからスチームベッセルに送られます。そこで約 105°C で脱気・予熱され、メタルトラップに入り、ここから C3 循環液と混ざり、高圧フィーダーを經由して釜に入ります。釜のトップで液とチップを分離して、一部の液はトップ循環に戻し、残りの液は釜の中に入ります。釜の中では、ストレーナーから抜いた液はヒーターを通して自己循環し、蒸解温度まで加温されます。チップは釜底部まで降下していきます。途中で蒸解を均一化するために自己循環を取ります。最後には、釜のボトムからパルプがブローされます。コンベンショナルな蒸解では、白液をほぼ 100% フィード系に添加します。一部の蒸解液は抽出スクリーンから抜かれ、フラッシュサイクロンでフラッシュされます。フラッシュ蒸気はスチームベッセルに戻ります。二次、三次のフラッシュ蒸気はチップビンに戻され、

## 連続蒸解プロセスの進歩

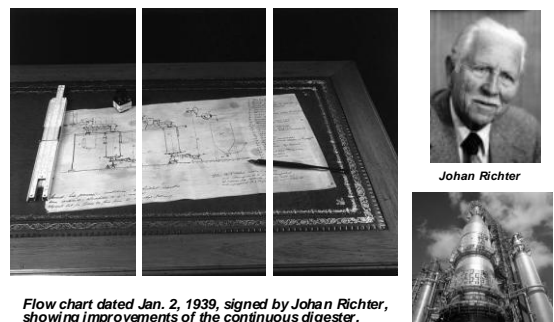
メッツオペーパージャパン株式会社

具 延

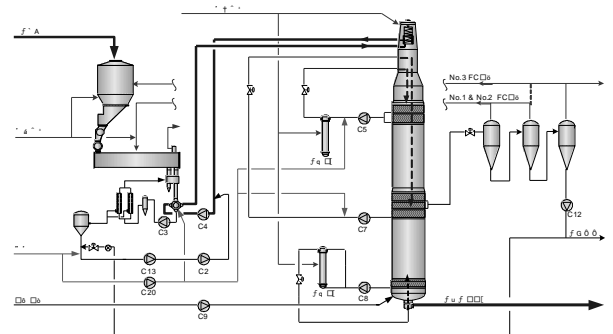
### 発表内容

- はじめに
  - 連続蒸解システムの発明
  - 連続蒸解システムの構成
- 連続蒸解釜の変遷
  - 1ベッセル液相蒸解釜
  - 1ベッセル気相/液相蒸解釜
  - 2ベッセル気相/液相蒸解釜
  - 2ベッセル液相蒸解釜
- 連続蒸解プロセスの変遷
  - コールドブロー技術
  - ハイヒート洗浄技術
  - MCC蒸解プロセス
  - EMCC蒸解プロセス
  - ITC蒸解プロセス
  - Lo-Solids蒸解プロセス
  - BLI蒸解プロセス
- 連続蒸解システムのフィード系技術の変遷
- 1ベッセル釜の低温蒸解技術
- 広葉樹のクラフトパルピングプロセスの最適化
- COMPACT COOKING™蒸解プロセス

### 連続蒸解システムの発明



### 連続蒸解システムのフロー



チップの予熱に使用します。以上が一般的なフローです。

## 2. 連続蒸解釜の変遷

次は、連続蒸解釜の開発の変遷です。1938年に最初のパイロットプラントの釜が開発されました。ついで1950年代に1ベッセルの液相蒸解釜、1967年に1ベッセルの気相・液相蒸解釜、1970年に2ベッセルの気相・液相釜ができ、そして1978年に2ベッセルの液相釜が開発されました。

最初に開発されたのが1ベッセルの液相蒸解釜です。液相というのは、釜の頂部に気相部を持たないで、完全に液で満たされた状態で操作することを指します。液相釜の場合は、蒸解温度まで加熱するため、多くのヒーターが必要です。通常の場合は、循環液を抽出するストレーナーが2段と、数段のヒーターが必要となります。

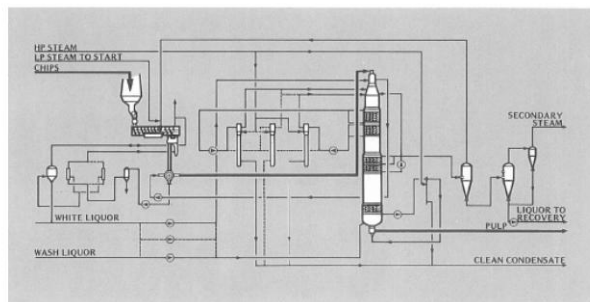
次に1ベッセルの気相・液相釜です。このタイプの蒸解釜は、当初 SP 蒸解釜用として開発されましたが、釜頂部に気相部と液相部を設けます。加熱のため、中圧蒸気の一部は直接釜頂部に入ります。その後、循環系のヒーターで間接的に加熱します。これにより、加熱用の循環流量を先ほどの液相釜に比べると少なくすることができ、液相釜のように大きなヒーターとストレーナーの面積は要りません。また、従来液相釜で見られるヒーターとストレーナーでのスケール、およびハンギングなどのトラブルは、気相釜ではかなり改善されます。

次は、2ベッセルの気相・液相釜を紹介します。1ベッセルの気相・液相釜は浸透時間が短く、浸透温度も高いという欠点があり、浸透が不十分となります。この欠点をなくすために高圧浸透ベッセルを設置して、2ベッセルの気相・液相釜を開発しました。2ベッセルの気相・液相釜は、蒸解温度までに加熱する前に、浸透釜でチップを十分に浸透させるために操作性がよくなります。

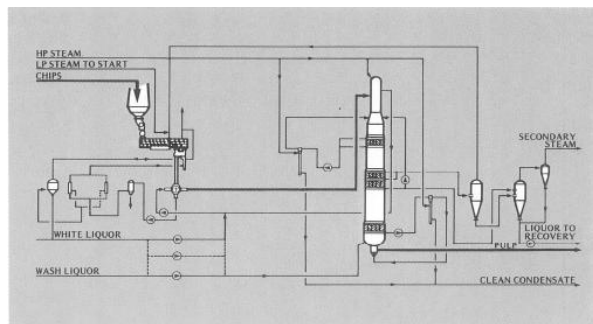
## 連続蒸解釜の開発の変遷

- 1938年 最初のパイロットプラント釜
- 1950年 1ベッセル液相蒸解釜
- 1967年 1ベッセル気相/液相蒸解釜
- 1970年 2ベッセル気相/液相蒸解釜
- 1978年 2ベッセル液相蒸解釜

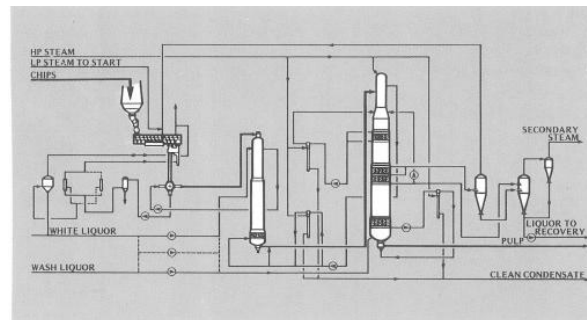
### 1ベッセル液相蒸解釜



### 1ベッセル気相/液相蒸解釜

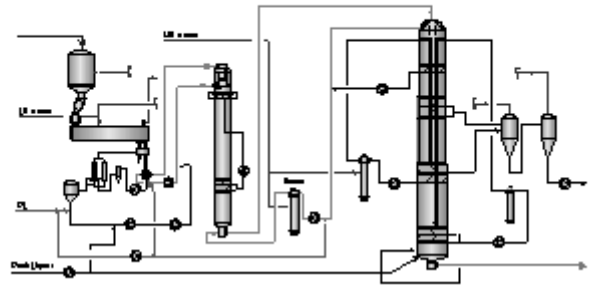


### 2ベッセル気相/液相蒸解釜



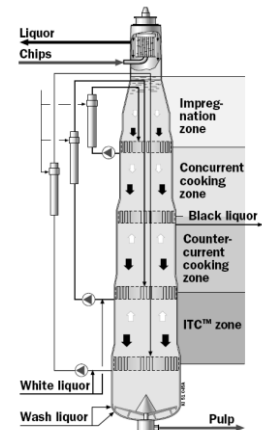
次に、2ベッセルの液相の蒸解釜です。2ベッセルの液相釜は、先ほどの2ベッセルの気相・液相釜に使う高圧浸透ベッセルを使って、液相蒸解釜と組み合わせたものです。蒸解温度までの加熱は、浸透釜と蒸解釜との間のトランスファー循環にヒーターを設置してこのヒーターで蒸解温度まで加熱します。そのため均一な加温ができます。

## 2ベッセル液相蒸解釜



1980年以降、多くの蒸解プロセスが開発されました。これについては後で紹介しますが、これらの蒸解プロセスと組み合わせて、多くの連続蒸解のシステムが開発されました。

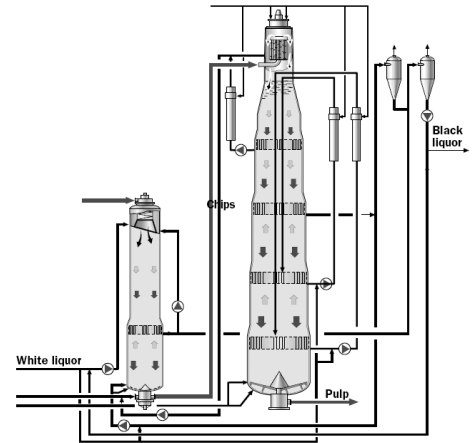
まず、ITCプロセスを取り入れた連続蒸解釜システムを紹介します。最初に、1ベッセルのITC液相連続蒸解釜システムを示します。高圧フィーダーからのチップと液は、釜のトップセパレーターでチップと液を分離され、チップは釜内を下降して浸透ゾーンに入ります。



## 1ベッセル連釜の各ゾーン

次に、2ベッセルのITC気相・液相連続蒸解システムについて簡単に説明します。浸透釜及び蒸解釜の頂部にそれぞれトップセパレーターがあります。トップセパレーターの機能は、シングルベッセル釜と同じです。

## 2ベッセル連釜の各ゾーン



## 3. 連続蒸解プロセスの変遷

次は、連続蒸解プロセスの変遷について話します。蒸解プロセスは時代の流れに伴って、その時代の要求を踏まえて進化してきました。ここではその流れに沿って、コールドブロー技術、ハイヒート洗浄技術、MCC蒸解プロセス、EMCC蒸解プロセス、ITC蒸解プロセス、

## 連続蒸解プロセスの変遷

- コールドブロー技術
- ハイヒート洗浄技術
- MCC蒸解プロセス
- EMCC蒸解プロセス
- ITC蒸解プロセス
- Lo-Solids蒸解プロセス
- BLI蒸解プロセス
- COMPACT COOKING™蒸解プロセス



MCC 蒸解プロセスです。MCC 蒸解プロセスでは、釜内のチップに対する液の流れが最初は並流に流れましますが、途中から向流に流れるように、ハイヒート洗浄ゾーンの上に、いわゆる MCC 蒸解ゾーンを設けます。この MCC 蒸解ゾーンで蒸解液を循環し、一部の白液もここで添加します。したがって、白液はフィード系と MCC 循環に分散して添加されます。

次に EMCC 蒸解プロセスで、MCC 蒸解プロセスをベースとして改良したものです。前述の MCC 蒸解プロセスと比べると、C8 の洗浄循環のところにヒーターを入れて、白液を分散、添加します。これによって洗浄ゾーンの一部を向流蒸解ゾーンとして使うのが、EMCC 蒸解プロセスの特徴です。

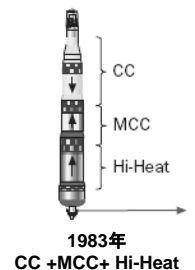
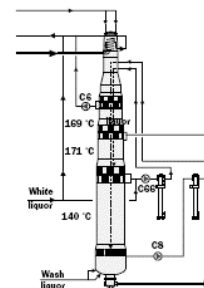
次は、ITC 蒸解プロセスについて説明します。蒸解パルプの強度特性および収率をできるだけ維持しながら、パルプのカッパー価をさらに下げるために、従来の MCC 蒸解プロセスに基づいて ITC 蒸解プロセスが開発されました。特徴としては、従来の MCC 蒸解ゾーンの下に ITC 蒸解ゾーンを設置します。すなわち、従来のハイヒート洗浄ゾーンを短縮して、C8 の洗浄循環の上に ITC の循環を取り付けます。これによって、釜全体での等温蒸解ができるようになりました。温度プロファイルと比較しますと、従来法のコンベンショナル蒸解では、上の半分の蒸解ゾーンでは温度が高く、ハイヒートの洗浄ゾーンでは低い温度で洗浄されています。一方 ITC プロセスでは、コンベンショナルの蒸解法より低い温度で蒸解することができます。

次は、文献から調べたローソリッド蒸解プロセスです。先に話しましたクラフト最適化の四つの原則の一つに、蒸解液中の溶出リグニンとナトリウムの濃度をできるだけ低くすることがあります。これに基づいて、蒸解の初期の段階から一部の蒸解液を抽出するのがローソリッド・プロセスの特徴です。

次は BLI 蒸解プロセスです。この特徴は、釜からの抽出液をまず浸透ベッセルに戻して、浸透ベッセルからの抽出液を、サイクロンを通して回収ボイラーに送ります。白液の添加は、トランスファー循環系、MCC 循環系、ITC 循環系に分散、添加します。これによって、浸透ゾーンにおいてはより高いアルカリ濃度と硫化水素イオン濃度を保つことができ、より均一な蒸解が得られるようになります。

### MCC蒸解プロセス

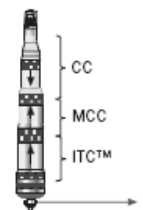
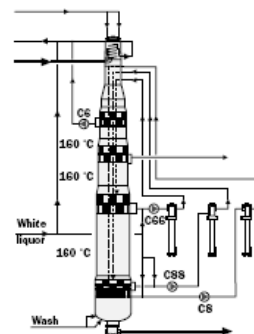
-Modified Continuous Cooking (MCC)



1983年  
CC +MCC+ Hi-Heat

### ITC蒸解プロセス

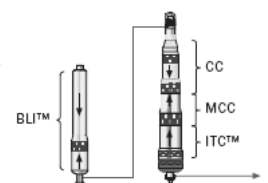
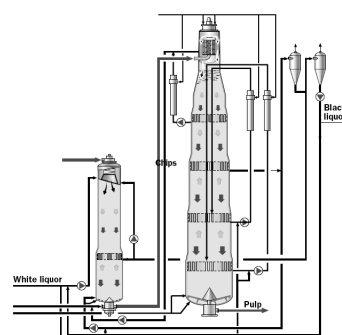
-Isothermal Cooking(ITC)



1991年  
CC +MCC+ ITC(Hi-Heat)

### BLI蒸解プロセス

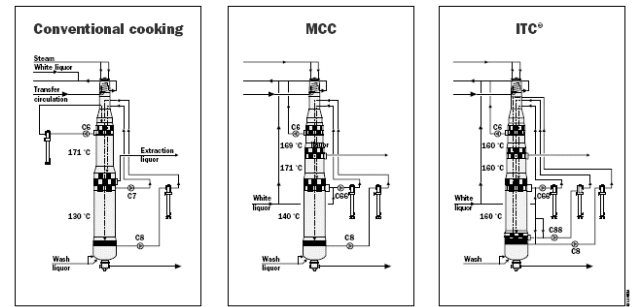
-Black Liquor Impregnation(BLI)



1993年  
BLI +MCC+ ITC(Hi-Heat)

従来のコンベンショナル蒸解システム (CK) と、MCC 蒸解プロセスおよび ITC 蒸解プロセスの蒸解条件を比較します。広葉樹の蒸解の場合で、それぞれの蒸解温度を調べると、CK は 166°C、MCC の場合は 162°C、ITC の場合は 150°C です。ブローカップー価を見ますと、針葉樹の場合は、コンベンショナルな蒸解では 30 程度、MCC の蒸解では 24 程度、ITC の蒸解では 17 となりました。広葉樹の場合は、コンベンショナルな蒸解では 20、MCC では 16、ITC では 13 となりました。

### CK, MCC, 及び ITC プロセスの蒸解条件の比較

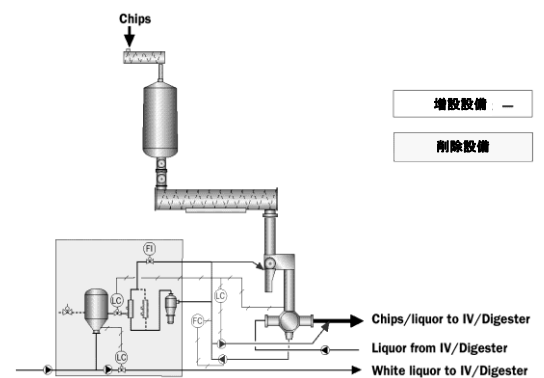


### 4. 連続蒸解システムのフィード系技術の変遷

次は、連続蒸解システムのフィード系の変遷について簡単に話します。従来のフィード系は、チップビン、チップメーター、低圧フィーダー、スチームベッセル、高圧フィーダー、サンドセパレーター、インラインストレーナーおよびレベルタンクから構成されています。ここで紹介したいのは、コンパクトフィードという、旧クヴァナ (現メツォ) が開発したシステムです。このシステムでは、サンドセパレーター、インラインストレーナーおよびレベルタンク等をなくして、C3 ポンプ、C2 ポンプおよび C4 ポンプだけでレベルと流量をコントロールするコンパクトなシステムです。このコンパクトフィードにより操作性を大きく向上させることができます。従来のシステムでは、高圧フィーダーの底部にストレーナーが設置され、このストレーナーが、操業を長く続けると少しずつ閉塞してきます。これが C3 循環の流量を妨害することになります。コンパクトフィードの場合はこのストレーナーを取り除き、C3 ポンプと C2 ポンプをチップが入っても運転できるようなポンプにします。ストレーナーをなくしたことで、チップの充填率を大きく向上することができ、高圧フィーダーの寿命を従来の 2 倍程度に延ばすことができます。

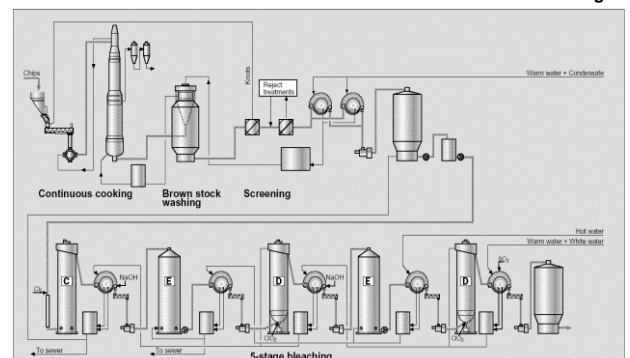
### 連続蒸解システムのフィード系技術の変遷

### COMPACT FEED™



以上の蒸解プロセスが、当時のファイバーラインに取り入れた場合の特徴を見ていきます。右図は、1978 年に建設されたファイバーラインです。蒸解システムはコンベンショナルな蒸解で、1 ベッセルの気相・液相釜で、もちろん蒸解温度が高く、二つのフラッシュサイクロンが設置されています。ブローパルプをディフューザーで洗浄して、それから粗選、酸脱を入れずに、そのまま漂白段に送ります。漂白段のシーケンス

### Aracruz, line A (Brazil) 1978 - 650 Adt/24h - Conventional Continuous Cooking



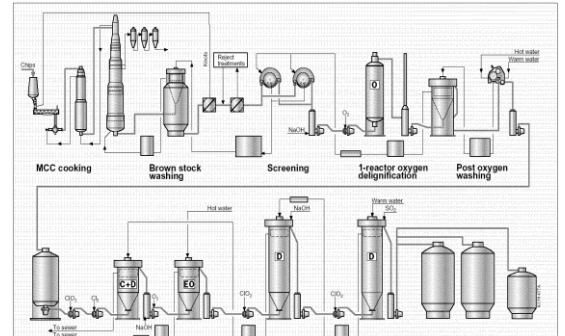
はC-E-D-E-Dでした。

次に、1992年のファイバーラインを見ます。右はフランスの工場ですが、蒸解システムは、2ベッセルのMCC蒸解システムです。蒸解温度は先ほど申しましたファイバーラインより低くなりますが、できるだけエネルギーを効率的に使用するためにフラッシュサイクロンを三つ設置していました。ブローラインにはディフューザーを入れて、中濃度酸脱を経て、漂白段に送ります。漂白のシーケンスは、C+D-E0-D-E-Dとなります。

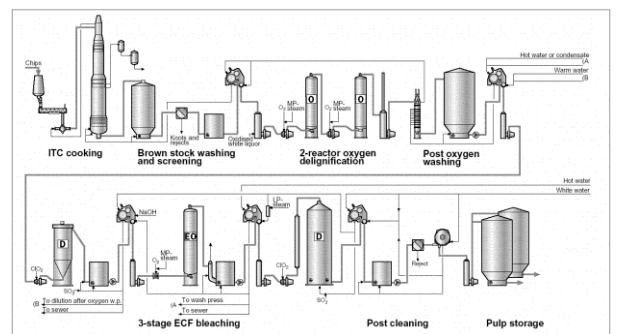
3番は、1998年のファイバーラインで、タイのアドバンスアグロのライン2で、ITC蒸解システムです。蒸解温度が低くなりましたので、フラッシュサイクロンは二つになります。このファイバーラインでは、ブローラインでの洗浄は行われず、スクリーンのあと、プレッシャー洗浄機で洗浄します。2段酸脱を入れて、漂白シーケンスはD-E0-Dとなります。

この三つのファイバーラインの操業の結果を比較します。コンベンショナルの結果を100とし、リジェクト率、水の使用量、CODの排出量、AOXの排出量を示します。プロセスの進歩に伴って大きく削減していることが分かります。一方、電力消費だけは、プロセスの進歩に伴って少し増えました。単純にトン当たりで比較しますと右下の図の結果になりました。

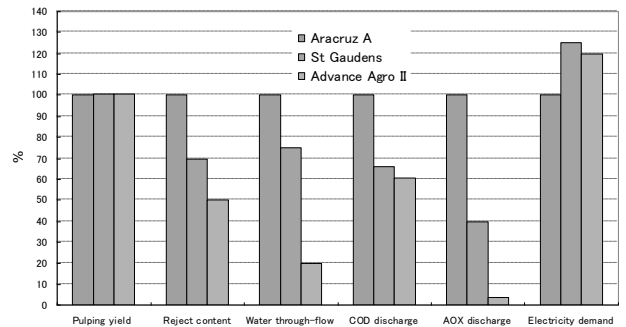
St Gaudens mill (France) 1992 - 1100 ADt/24h - MCC Cooking



Advance Agro, line II (Thailand) 1998 - 800 ADt/24h - ITC Cooking



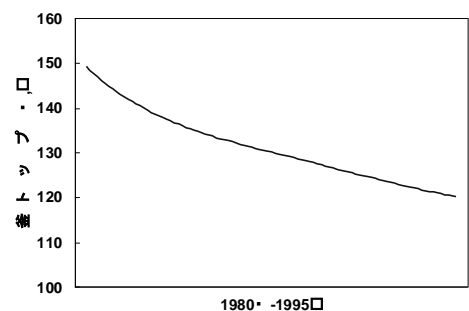
三つのファイバーラインの操業結果の比較



5. 1ベッセル釜の低温蒸解技術

次に、1ベッセルの連釜の低温蒸解技術について話します。1ベッセルの釜の低温蒸解技術は、釜の頂部の気相部の温度をできるだけ低くする技術です。右図は、日本における1980年から1995年までの、1ベッセルの気相・液相釜の気相部の温度の変化を示します。気相部の温度は、従来の150℃から、120℃程度まで下がっています。なぜ日本ではこのような技術が生まれたのでしょうか。日本では、異なった樹種の木材チ

1ベッセル連釜の蒸解における釜トップの気相温度の変化





チップを配合して蒸解することが一つの要因と思います。例えば、難蒸解性チップの配合比率が大きくなると、蒸解条件が難蒸解チップのほうにシフトして、易蒸解性チップが過蒸解になります。それによって、各循環系でストレーナーの閉塞や、チップの下降を阻害するハンギングなどのトラブルが起こりやすくなります。一方、易蒸解性チップの比率が多くなると、蒸解条件が易蒸解性チップのほうにシフトして、難蒸解性チップがなかなか蒸解されにくく、ノット粕（かす）の量が大きく増えることが想像されます。

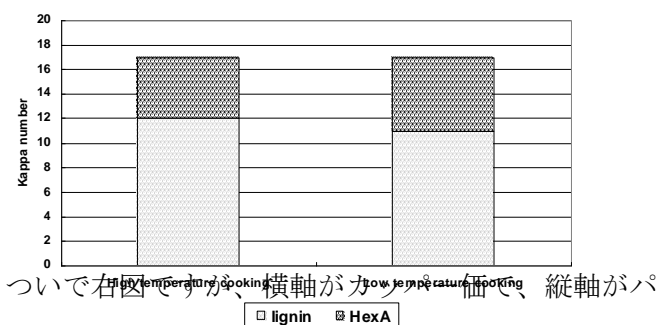
このような混合チップを効率的に蒸解するには、いかにチップを均一に浸透させるかが重要なファクターとなります。

浸透についてまとめますと、高い温度で浸透を行うと、チップの中心部へ浸透するアルカリ量より、化学反応で消費されるアルカリのほうが多くなります。言い換えると、チップの表面で蒸解反応が行われ、チップの中への浸透が不十分となります。そのため、蒸解パルプ中のノット粕の量が多くなります。浸透温度を低くすると浸透ゾーンでの蒸解反応が低く抑えられ、浸透が均一に行われます。そのため、均一な蒸解が得られ、蒸解パルプ中のノット粕の量が低減され、また炭水化物の崩壊を最少に留めることができます。

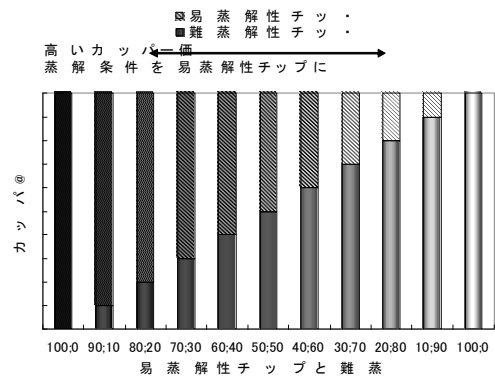
## 6. 広葉樹のクラフトパルピングプロセスの最適化

次に、広葉樹クラフトパルプのプロセスの最適化を話します。広葉樹の場合は、同じカップー価、例えば17のカップー価にコントロールしても、ヘキセンウロン酸由来のカップー価とリグニン由来のカップー価が異なります（左下図）。一方、リグニン由来のカップー価を一定としても、ヘキセンウロン酸由来のカップー価は蒸解条件の違いによって異なります（右下図）。

### 蒸解温度の違いによるカップー価の組成の違い(2)



### 易蒸解性チップと難蒸解性チップの配合比率の違いによるパルプ組成の変化

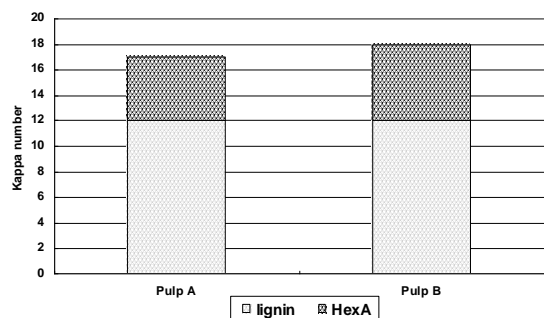


- 高い温度で浸透を行うと、チップ中心部へ浸透するアルカリ量より、化学反応で消費されるアルカリ量のほうが多くなる。そのため、浸透が不十分となる場合がある。
- 浸透温度が高くなると、チップの表面に蒸解反応が行われ、チップの中への浸透が不十分となるため、蒸解パルプ中にノット、粕の量が多くなる。
- 浸透温度が低くなると、浸透ゾーンでの蒸解反応が低く抑えられ、浸透が均一に行われる。そのため、均一な蒸解が得られ、蒸解パルプ中のノット、粕の量が低減され、また炭水化物の崩壊が最少に留めることができる。

### 広葉樹のクラフトパルピングプロセスの最適化

- 高い温度で浸透を行うと、チップ中心部へ浸透するアルカリ量より、化学反応で消費されるアルカリ量のほうが多くなる。そのため、浸透が不十分となる場合がある。
- 浸透温度が高くなると、チップの表面に蒸解反応が行われ、チップの中への浸透が不十分となるため、蒸解パルプ中にノット、粕の量が多くなる。
- 浸透温度が低くなると、浸透ゾーンでの蒸解反応が低く抑えられ、浸透が均一に行われる。そのため、均一な蒸解が得られ、蒸解パルプ中のノット、粕の量が低減され、また炭水化物の崩壊が最少に留めることができる。

### 蒸解温度の違いによるカップー価の組成の違い(1)



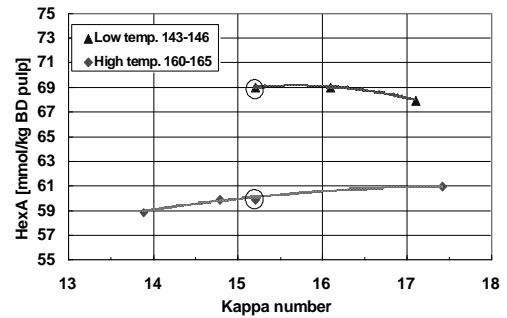
ルプ中のヘキセンウロン酸の含有量を示します。蒸解温度が低いパルプのほうがヘキセンウロン酸の含有量が高くなり、逆に温度の高い蒸解では、ヘキセンウロン酸の量が低くなるのが分かります。

右の図は、低温蒸解と高温蒸解のパルプの収率を示します。低温蒸解の場合は、パルプの収率が高温蒸解より高くなるのが分かります。ヘキセンウロン酸含有量の高い高収率パルプとヘキセンウロン酸含有量の低い低収率のパルプの漂白性を比較します。漂白シーケンスは Dhot-(OP)-D です。同じカップー価で比較した場合は、高ヘキセンウロン酸含有の高収率のパルプの漂白性がよいことが分かります。

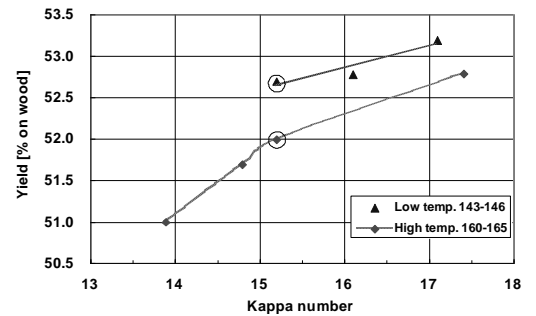
以上より、広葉樹クラフトパルピングのプロセスの最適化は以下のようになります。パルプ A は従来の蒸解によるパルプ、パルプ B はできるかぎりブローカップー価を高くしたパルプです。最初に、酸素脱リグニンの強化によって、リグニン由来のカップー価を従来のレベルまで落とします。そして、オゾンあるいは酸加水分解の技術によって、ヘキセンウロン酸由来のカップー価を低くします。そして、残った着色成分のリグニンは、漂白剤によって漂白するプロセスを提案することができます。

今までの蒸解プロセスを振り返ってみます。1962年には蒸解設備の増強、例えばハイヒート洗浄ゾーンが付けられました。ついで MCC 蒸解ゾーン、ITC の蒸解ゾ

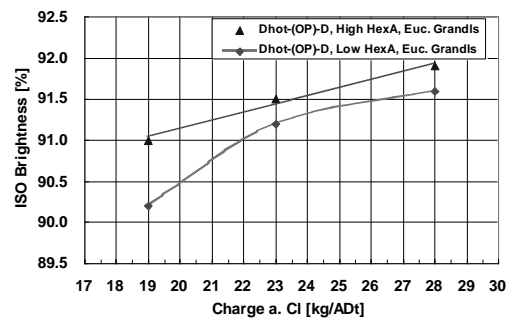
高温蒸解パルプと低温蒸解パルプ中の HexA 含有量  
E. Grandis



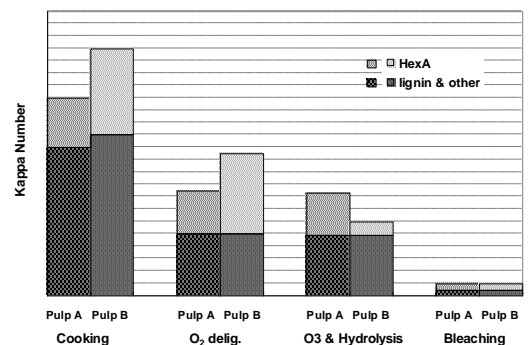
高温蒸解と低温蒸解のパルプ収率  
E. Grandis



高HexA/高収率のパルプと低HexA/低収率のパルプの漂白性

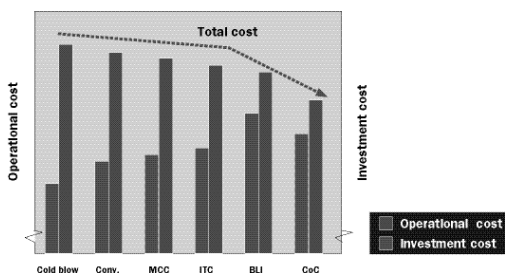


広葉樹クラフトパルピングプロセスの最適化



ーン、さらに BLI の浸透釜が付けられました。いずれも蒸解設備が増えることになり、投資コストがどんどん上がります。しかし、操業コストは下がっていきます。これは、パルプの生産規模が大きくなったことが一つの要因です。連釜の生産能力を見ますと、2003-2005年の中国海南島のファイバーラインは3,000トン強です。最近の大きな案件としては、5,000トンレベルのファイバーラインもすでに行っています。釜の径を見ますと、海南島の金海（チンハイ）の釜は12.5メートルで、どんどん大きくなります。

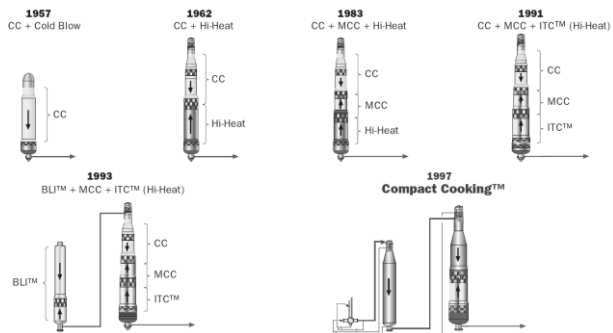
蒸解プロセスの変遷に伴ってイニシャルコストとランニングコストの変化



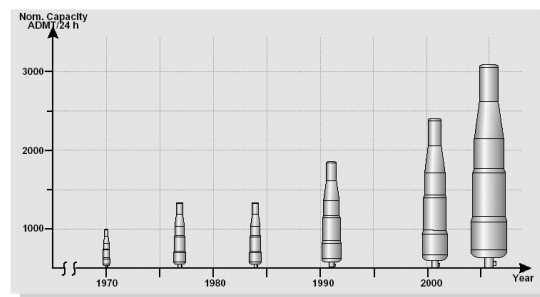
このため、プロセスを効率的にするため、1980年代初頭に提唱された理論を見直すことになり、それをクヴァナとKTHと共同で作業しました。そして見直された理論に基づいて開発したのが、この新しいコンパクト蒸解プロセスです。

蒸解反応は、初期反応、バルク反応、そして残留リグニン反応の三つに分けることができます。アルカリ濃度を変えてテストをしてみますと、全体として図のようなカーブになります。これを簡単にまとめますと、蒸解全体を通じて水酸化イオン濃度を高くすると、バルク及び残留リグニン相での反応が促進されます。そして、残留リグニン相のリグニン量を低減することができます。すなわち、残留リグニンの量は、残留リグニン相のOH濃度によって決められます。また、HS濃度を高くすると、バルクリグニンの反応が促進され、残留リグニン相のリグニンの量も低減されます。したがって、蒸解全体を通じてHS濃度を高くすることが好ましいのです。

### 連続蒸解プロセスの変遷

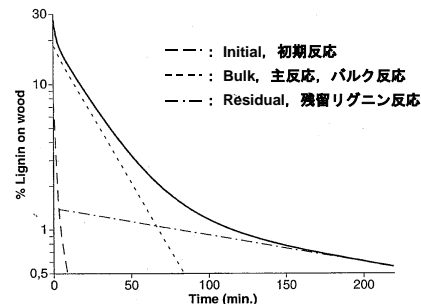


### 連続蒸解釜の生産能力の変化



- 1980年代初頭に提唱されたクラフト蒸解理論の見直し
- 新しい蒸解プロセスの開発

### クラフト蒸解における脱リグニン反応



以上をまとめてみますと、炭水化物の溶出量を最小にとどめるために、水酸化イオン濃度  $\text{OH}^-$  を、蒸解の全体を通じて平準化しながら、高い濃度を維持するのが好ましい。そして、同じ  $\text{OH}^-$  量の場合は、 $\text{HS}^-$  濃度を高く設定することで、温度はさらに下げることができる。蒸解終盤において、溶出したリグニンとナトリウムの濃度に関しては、水酸化イオン濃度が十分に高く保持されている限り、溶出リグニンは、脱リグニンの選択性に悪影響を及ぼすことはない。もう一つは、ナトリウムイオン濃度は、残留リグニンの脱リグニンに大きな影響は与えない。

これによって1990年代の見直された四原則は次のようになります。一つは、水酸化イオン濃度のピークが立たないようにする。これによって、炭水化物の溶出量を最小限にとどめます。2番は、水酸化イオン濃度は蒸解全体を通じてできるだけ高くする。これによって、バルク反応相の反応速度を速めるとともに、残留リグニン相のリグニン量を低くする。3つ目は、水酸化イオン濃度を十分高く保持する限り、溶出されたリグニン濃度が高くても、蒸解反応に対してはネガティブな影響は及ぼさない。ナトリウムの濃度も、残留リグニン相の脱リグニン反応に影響は及ぼさない。4つ目としては、蒸解温度を、蒸解全体を通じて低く保つことにより、炭水化物の崩壊をできる限り最小にとどめ、歩留まりを最大にすることです。

## 7. COMPACT COOKING™ 蒸解プロセス

これに基づいて開発したのがコンパクトクッキング・システムなのです。ここで示しているのはコンパクトシステム (G1) です。抽出液を浸透釜のほうに戻して浸透釜の液比を高くし、蒸解ゾーンの液比を高くすることによって、先ほどの新しい四原則の条件を満たしています。

それぞれの蒸解プロセスの温度を比較します。これはユーカリ材を例として比較したものです。コンベンショナルの蒸解では  $160^\circ\text{C}$  程度、MCC 蒸解では  $155^\circ\text{C}$

蒸解全体を通して水酸化イオン ( $\text{OH}^-$ ) 濃度を高くすると、

- バルク脱リグニン相での反応が促進される。
- 残留リグニン相のリグニンの量が低減される。
- 残留リグニンの量は残留リグニン相の  $\text{OH}^-$  濃度によって決まる。

水酸化イオン ( $\text{HS}^-$ ) 濃度を高くすると、

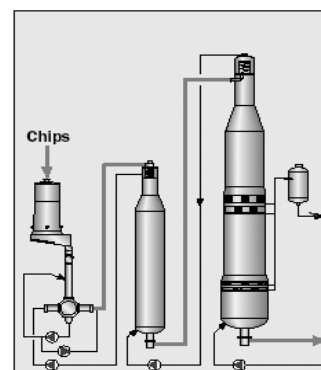
- バルク脱リグニンでの反応が促進される。
- 残留リグニン相のリグニンの量も低減される。

➡ 蒸解全体を通して  $\text{HS}^-$  濃度を高くするのが好ましい。

## 見直された最適クラフト蒸解条件の4つの原則(1990年代)

1. 水酸化イオン濃度 ( $\text{OH}^-$ ) のピークが立たないようにすること。これは炭水化物の溶出量を最少に留めるため (Lindgren 1997)。
2. 水酸化イオン濃度 ( $\text{HS}^-$ ) は蒸解反応全体を通じてできるだけ高くすること。これはバルク反応速度を速めるとともに、残留リグニン相のリグニン量を低減させるため (Lindgren, Lindström 1996)。
3. 水酸化イオン濃度 ( $\text{OH}^-$ ) が充分高く保たれている限り、溶出リグニン濃度が高くとも、それは脱リグニン反応に対して決してネガティブな影響を及ぼすことはない (Gellerstedt 1997)。またナトリウムイオン濃度 ( $\text{Na}^+$ ) も残留リグニン相の脱リグニン反応に影響を与えない (Lindgren, Lindström 1996)。
4. 蒸解温度は蒸解反応全体を通じて低く保つこと。これは、炭水化物の崩壊をできる限り最少に留めることにより、炭水化物の歩留を最大にするため (Lindgren 1997)。

## COMPACT COOKING™ G1 システム

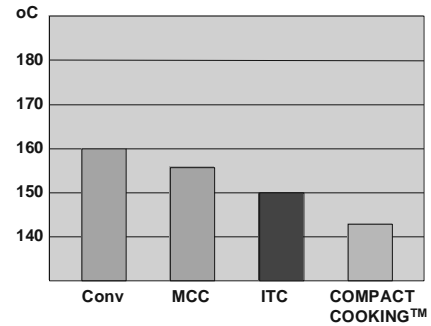


程度まで下げることができます。ITC 蒸解では 150℃、コンパクトクッキングの蒸解では 144℃まで下げることができます。一方、針葉樹の場合は、コンベンショナルの蒸解では 170℃、MCC 蒸解では 165℃まで下げることができ、ITC 蒸解では 160℃、コンパクトクッキングでは 150℃まで下げることができます。

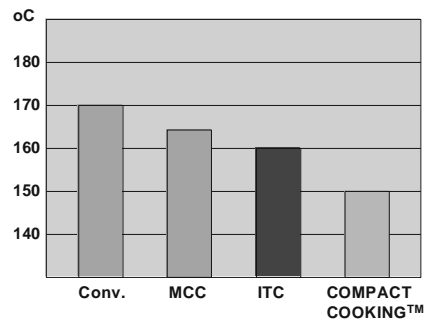
コンパクトクッキングの特徴をまとめます。水酸化イオン濃度をより高いレベルで平準化することができ、なおかつピークが立たない。HS<sup>-</sup>濃度は、釜全体を通じてより高く維持することができる。チップに対しての蒸解薬品である OH<sup>-</sup>、HS<sup>-</sup>の量が多くなるので、蒸解反応が加速することができ、脱リグニン反応全体を通じて、温度を従来のそれより低くすることができる。そして蒸解液の抽出はできるだけ終盤で行ない、溶出したヘミセルロースをできるだけ繊維の表面に再吸着させる。

コンベンショナルの蒸解とコンパクトクッキングを比較します。同一カッパー価で、約 1%強の収率を向上することができました。パルプの強度を比較しますと、引っ張り強度と引き裂き強度共に、コンパクトクッキング蒸解では、ITC 法蒸解より高くなることが分かります。ブローパルプの白色度を比較しますと、ITC 蒸解に比べ、コンパクトクッキングでは高くなることが分かります。そしてトータルのリジェクト率を比較しますと、コンパクトクッキングは、ITC 蒸解より下がることが分かります。

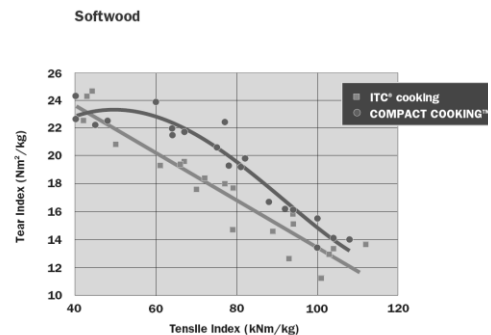
### COMPACT COOKING™ - 蒸解温度の比較(Eucalyptus)



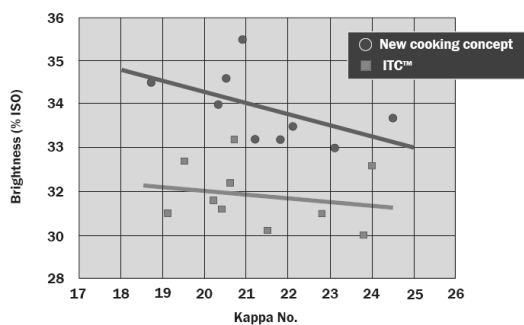
### COMPACT COOKING™ - 蒸解温度の比較(Softwood)



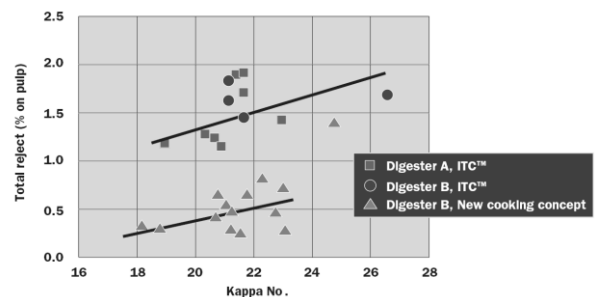
### COMPACT COOKING™ - パルプ強度の比較(Softwood)



### COMPACT COOKING™ - ブローパルプの白色度(Softwood)



### COMPACT COOKING™ - Scandinavian softwood



コンパクトクッキングのプロセスの特徴は、非常に簡素化されたシステムで、ストレーナーから抽出して元のストレーナーに戻す自己循環を持っていません。このためストレーナーのスクーリングが低減します。プロセスが柔軟性を持っているので、混合材の蒸解に適します。そして、収率が従来の方法より向上します。エネルギーの消費量を削減できます。それから、パルプの漂白性が向上します。蒸解パルプの品質が向上します。環境に対して負荷の低減ができます。

コンパクトクッキングも進歩して、最近主流になっているのは、コンパクトクッキングのジェネレーション2 (G2) です。最近メツォが提供するものは、ほとんどこのG2となります。

コンパクトクッキングG2とG1はどこが違うかを簡単に説明します。コンパクトクッキングG2は、最新の研究結果に基づいて開発した非常にシンプルな蒸解システムです。コンパクトクッキングG1に比べ、液比が高い。そして、アルカリ濃度が平準化され、HS濃度が高く維持できる。蒸解温度が低く抑えることができる。コンパクトクッキングG2の場合は、浸透温度を非常に低く抑える。そして、可能な限り蒸解終盤で抽出する。浸透ベッセルは、大気圧で、温度約100℃程度で浸透を行います。

最後になりますが、コンパクトクッキングG2の応用について述べます。新規のファイバーラインの場合、針葉樹と広葉樹どちらでも十分に対応できます。もう一つは、既設設備の増産を目的とした改造です。結果として、収率の向上、エネルギー消費量の削減、パルプ漂白性の向上、パルプ品質の向上、環境に対する負荷の低減、異なった材種の混合材にも対応できます。特に日本では、いろいろの材を混ぜて蒸解しますので、このような低温で均一に浸透させたチップを蒸解すれば、より均一の蒸解ができます。最近原料が世界的に緊迫して、品質が非常に劣る材も混ぜなければならない。そのような場合は、このようなシステムが非常に有利です。

以上、ご清聴ありがとうございました。

**質問1**：高ヘキセンウロン酸の高収率のパルプは漂白性がよいとのグラフがありましたが、退色も評価対象に入れて総合的に見た場合も、やはり高ヘキセンウロン酸の高収率パルプの漂白性はよいという判

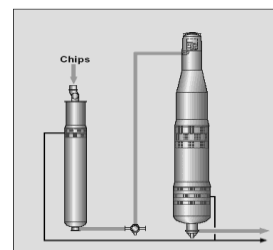
## COMPACT COOKING™ 蒸解プロセス

- 簡素化されたシステム
- 自己循環(横循環)はない
- スクリーン負荷の低減
- プロセスに柔軟性を持つ
- 異なった材種の混合材に適用
- 蒸解収率の向上
- エネルギー消費の削減
- パルプ漂白性の向上
- 蒸解パルプ品質の向上
- 環境に対する負荷の低減



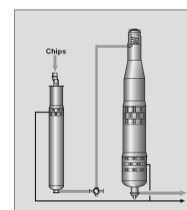
## COMPACT COOKING™ G2

第二世代のCOMPACT COOKING™である。  
—最新の研究結果を基いて開発したシンプルな蒸解システム



## COMPACT COOKING™ G2 システムの応用

1. 新規ファイバーライン(HW & SW)
2. 既設蒸解システムの増産
3. 既設蒸解システムの効率化を目的とした改造
  - 蒸解収率の向上
  - エネルギー消費の削減
  - パルプ漂白性の向上
  - 蒸解パルプ品質の向上
  - 環境に対する負荷の低減
  - 異なった材種の混合材に適用



断なのでしょうか。

具：確かに、低温蒸解の場合はヘキセンウロン酸の量が高くなります。このプロセスの考え方は、蒸解収率をいかに高くするか、そして、均一の蒸解によりできるだけカップー価を高くすることだと思います。それによって、ヘキセンウロン酸由来のカップー価の成分が高くなります。その分が最後のパルプに残りますと、当然、色戻り要因となり、望ましことではありません。

しかし、漂白のプロセスの中で、ヘキセンウロン酸に対して反応性が高いオゾン漂白や、ホットD、つまり、高温の加水分解を取り入れることによってヘキセンウロン酸は十分削減されます。それによって、最終的に仕上がりパルプの中のヘキセンウロン酸由来のカップー価の成分を低く抑えることが可能です。もちろん、最終的にこれが多くなりますと、色戻りの要因となります。

**質問2**：同じカップー価でも、低温蒸解のほうが、リグニン量が少なく、ヘキセンウロン酸量が多いとの説明がありました。どうしてそうなるのか教えてください。

具：蒸解に伴ってヘキセンウロン酸が生成します。一方で、蒸解に伴ってヘキセンウロン酸も分解されます。低温蒸解の場合は、蒸解時間が高温蒸解より少し長くなります。高温蒸解の場合、ヘキセンウロン酸生成量が多いのですが、温度が高い分、ヘキセンウロン酸が分解してしまい、それによってパルプ中の残留量が低くなります。

炭水化物の活性化エネルギーとリグニンの活性化エネルギーが異なることから、低温蒸解の場合は、ヘミセルロースの含有量が多くなります。それによって、最終的に同じカップー価にコントロールしても、ヘミセルロースが多くなることから、ヘキセンウロン酸由来のカップー価が多くなると思います。

以上