

# 木材からブドウ糖を作った人たち

－北海道木材化学株式会社の記録－

元 富山県木材試験場 場長 唐 澤 了

## はじめに

森林は、いま世界的に問題になっているCO<sub>2</sub>を吸収して成長し、副産物として酸素を放出する巨大な大気浄化機能を持っています。無限の再生産が可能な森林から得られる木材や林地残材、工場から排出される廃材などを、高純度のブドウ糖、その他の化学原料にあますことなく変換できれば、将来心配されている人口増加による食糧やエネルギー不足の対策として重要な意義を持つでしょう。実は、このような森林バイオマスの完全利用技術は、わが国でいまから30数年前にすでに企業化されていたのです。

年配の方は、いま広大な住宅団地になっている旭川市近文地区（現旭川市錦町・北門町両町内の一部（19～22丁目））に、通称「木糖会社」と呼ばれた大きな工場があったことをご存じかと思います。この工場は、当時の北海道立林業指導所（現林産試験場）が中心になり、世界ではじめて確立した「北海道法」という技術によって、当時北海道に大量に繁茂していたシラカバなどの木質未利用資源（当時は不良広葉樹といいました）を濃硫酸で処理し、結晶ブドウ糖をはじめとするいろいろな製品を生産するために建設されたものでした。しかしこの工場は、操業開始後パイロットプラント試験では予想できなかったトラブルのため、わずか10か月で運転は休止のやむなきにいたりました。

この北海道法の誕生から工場閉鎖にいたる過程において、基礎研究から操業停止にいたるまで膨大な技術資料が蓄積されましたが、これは今後の木材資源の完全利用システムを構築する上で大きな価値があると思われます。このことから当時この会社で働いていた有志が集まってこれらの資料をまとめ、昨年4月に「北海道木材化学株式会社の記録」と題する本を刊行しました。以下にこれを参考にしながら、木材の究極的な完全利用に挑戦したこの会社の概要と、最近の加水分

解技術の動向について簡単に紹介したいと思います。

## 会社設立の背景

昭和30年代は戦後まもない時期で、日本はまだ貧しい国でした。特に砂糖などの甘味料はほとんどが輸入品で高価であり、砂糖10kgを買うためにはアメリカでは1時間あまりの賃金ですみましたが、日本ではなんと13時間以上も働かねばなりませんでした。

このことから、当時は木材の加水分解工業の育成が国策として重視され、国内甘味料の自給と貴重な外貨節約を目的として国庫補助も充実されて、木材からブドウ糖を製造する研究が盛んに行われました。しかし、木材のセルロースは澱粉<sup>でんぷん</sup>などと違ってブドウ糖が数千個結合した高分子で、しかもリグニンという化学的に非常に安定した物質で保護されているため、木材の糖化（加水分解）には相当な困難を伴います。

しかし前述のような国策に沿った技術を開発するために、国内でも有数の研究者や技術者が集まって研究を行った結果、濃硫酸で木材を加水分解してフルフラール、メチルアルコール、高純度の結晶ブドウ糖や食・飼料用酵母、肥料用硫酸などの製品を製造する「北海道法」が確立されました。このように、当時北海道は木材加水分解技術開発の最先端を走っており、この成果をもとに昭和34年に「北海道木材化学株式会社」が設立されたのです。

## 北海道法の概要と特徴

木材の酸糖化法は、希硫酸、濃硫酸、濃塩酸法に分けられますが、製品価格が安いアルコールしか製造できない希硫酸法は除外され、付加価値が高い結晶ブドウ糖を生産できる濃酸法が対象になりました。さらに装置の耐酸性要求度や建設費の点から有利と見られた

濃硫酸法が基本プロセスとして採用されました。

このプロセスの特徴としては、おおよそ次の点があげられます。

①水蒸気蒸煮による木材チップの前処理

チップをそのまま硫酸で糖化すると、ヘミセルロースが分解したブドウ糖以外の糖類が不純物として混入し、ブドウ糖製造に悪影響を及ぼします。しかしヘミセルロースは水蒸気蒸煮（前加水分解）によってキシロースなどの糖類、さらには合成樹脂や溶剤などに利用できるフルフラールに変化し、付加価値が高い製品になるほか、メタノール（メチルアルコール）も取得することができます。このように、前加水分解工程は糖化原料の精製と有用物質の回収利用という重要な役目を担います。

②イオン交換膜による硫酸の回収と循環使用

濃硫酸法の弱点は、木材とほぼ同量を使用する硫酸回収が難しいということでした。最も単純な方法は石灰で中和して石膏とし、これからボードを生産することができますが、採算面で問題があります。また硫酸、燐安などの肥料にすることもできますが、肝心の加水分解工場より大規模な工場になるので大きな問題でし

た。これを解決する方法として、電解透析による硫酸回収が考えられましたが、その後偶然に電気を用いない拡散透析法が見いだされ、この問題は解決されました。これは、特殊な樹脂膜を挟んで片側に硫酸を含む糖液を、反対側に水を流すと糖液中の硫酸は膜を通して水に移ることを利用して硫酸を回収するものです。回収硫酸は濃縮後、新しい硫酸を追加して循環、再利用します。

③結晶ブドウ糖製造工程に複塩法を採用

糖液に食塩を加えると、ブドウ糖2分子に対して1分子の食塩が結合した結晶ができます。これを複塩と呼びますが、食塩はブドウ糖以外の不純物とは結合しないので、高純度の結晶が得られます。複塩は遠心分離機で糖蜜を除き、冷水を加えると食塩が除去され、再度冷水で洗浄すると極めて純度が高い結晶ブドウ糖が得られます。この方法は、結晶に要する時間も極めて短かく、効率の点でも優れています。

全工程を少し詳細に説明すると次のようになります。

図1から、まず木材チップをダイジェスタ（蒸煮釜）に送り、高圧水蒸気で180℃、2時間処理します。この水蒸気の一部を釜の頂部から抜き取って冷却し、こ

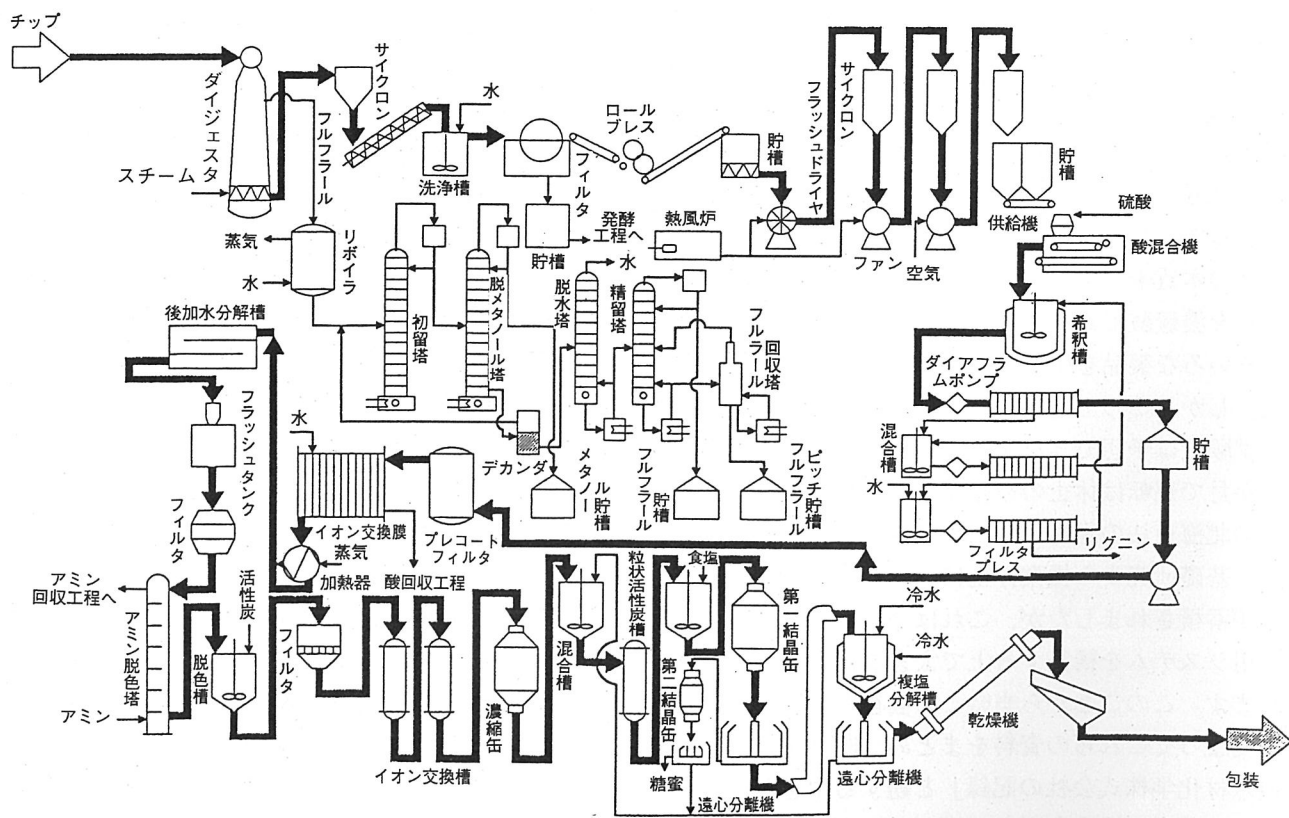


図1 北海道法工程略図  
(保坂秀明他：食品製造工程図集，化学工業社 1970)

の液を蒸留してフルフラールとメタノールを取得します。蒸煮によってヘミセルロースが除かれたチップ（リグノセルロース）は水洗、乾燥して糖化原料にします。

糖化工程（主加水分解）では、原料に80%の濃硫酸を混合してセルロースを部分分解し、水で硫酸濃度を約30%に希釈後、リグニンと糖化液を分離します。糖化液は②の方法で硫酸を回収し、硫酸濃度を約8%にしたのち、100~120℃、1~2時間加熱（後加水分解）して、ブドウ糖重合物を完全にブドウ糖に分解します。

糖液精製工程では、まず脱酸塔で高分子アミンのケロシン溶液と糖液を向流接触させ、硫酸をアミンに結合させて完全に中和します。中和糖液はイオン交換樹脂によって不純物を除去し、濃縮後、③の方法で高純度の結晶ブドウ糖を取得します。この工程で生成する糖蜜は、酵母の製造原料として活用します。

アミン脱酸工程で生成したアミン硫酸塩はアンモニアガスで中和後、硫酸溶液とアミン溶液に分離し、アミン溶液は再循環させ、硫酸は噴霧乾燥して肥料用硫酸を取得します。

膜脱酸工程で回収された濃度約27%の硫酸は濃縮缶で75%まで濃縮し、新しい硫酸を加えて80%に調整し

て主加水分解工程に循環、再使用します。

以上の工程によって、木材100t当たりフルフラール6.5t、メタノール1.35t、結晶ブドウ糖23.3t、乾燥リグニン37t、乾燥酵母7.5t、硫酸24.8tが製品として得られます。

## 会社の概要

前述したように昭和34年4月、北海道の未利用広葉樹の活用を目的として北海道木材化学株式会社が設立されました。このときの授権資本金は15億円、株式発行額は4億5千万円で、工場完成時には8億7千万円に増資されました。工場の規模は、原木処理量300t/日（乾材）を最終目標としましたが、当面は80t/日でスタートすることになり、昭和38年に当時の物価水準で20億円の巨費を投じて旭川市近文地区に本格的な工場が建設されました。このときの大株主は北海道（持株比率27.8%）、北海道東北開発公庫（同23.0%）をはじめ、国内の有力企業20社で98%を占めていました。会社の事業計画は何度か修正されましたが、最終的には次のように決められました。

### 1) 設備費

項目	内容	金額(千円)	備考
土地	111,421坪	126,715	工場用地 103,481坪, 鉄道岐線他 7,940坪
建築費	3,228坪	182,820	第1~6工場, 事務所, 研究所その他
機械装置費	1式	1,214,185	チップパー, 加水分解, 製糖, 酵母, 硫酸濃縮他
構築物	1式	160,580	岐線, 給排水, 構内道路その他
合計		1,684,300	

### 2) 平常年度収支計画

#### 2) - 1 収入

品名	販売量(t)	単価(千円)	金額(千円)
フルフラール	1,200	120	144,000
メタノール	320	30	96,000
キシロース	400	130	52,000
結晶ブドウ糖	4,500	78	351,000
精製糖液	1,000	75	75,000
酵母	2,300	100	230,000
リグニン製品	5,100		351,000
硫酸	6,000	13	78,000
合計			1,377,000

#### 2) - 2 支出

項目	金額(千円)
主要材料費	523,874
電力・重油	126,630
労務費	77,650
工場経費	90,224
減価償却費	122,560
管理販売費	130,000
借入金利息	122,850
合計	1,193,789

2) — 3 収支見込み

収入—支出=96,811 (千円)

3) 組織と人員

本店・旭川工場 (191名)

事務部…総務課, 業務課, 経理課

製造部…第1課 (前加水分解, 蒸留)

第2課 (糖化, 硫酸回収・濃縮)

第3課 (糖液精製, ブドウ糖製造)

第4課 (酵母製造)

第5課 (リグニン製品製造, 第2期に設置  
予定)

監理課 (企画, 品質, 原価管理, 統計調査)

研究部…研究課 (製造技術, 分析, 製品開発他)

木材部…事業課 (造材, 商材)

木材課… (原木検収, チップ製造)

東京支店 (11名)

札幌事務所 (3名)

### 工場建設と操業の状況

用地取得, 水利権, 資金調達などの諸問題を解決し, 昭和37年によく工場建設が始まりました。10万坪の広大な敷地では戦場のような慌ただしさの中で各工場が姿を現わし, 12月の建築工事完了とともに機械装置の据え付けが始まりました。この冬は特に寒かったのですが, 翌年4月末には第2期に予定されていたキシロース, リグニン工場を除くすべての工事が完了し, その後装置検査と試験運転を経て6月から正式に操業

に入りました。

最初の結晶ブドウ糖製品は8月に生産されましたが, 品質は極めて良好で純度は99.5%以上に達しました。この製品は「エルムシュガー」と命名され, 清涼感があるさわやかな甘みを持ち, 即売会でも200g入り1袋25円で販売され, 『旭川の名産「木糖」』として好評でした。

しかし操業の結果, 製造装置は計画したようには稼働せず, 試運転から稼働停止にいたるまで悪戦苦闘を強いられました。もっとも影響が大きかったのは, 工程の最初にある蒸煮釜の不調でした。まず頻繁に釜の中でチップが固まって排出不能になり, 連続運転ができなかったことが大きな問題でした。またパイロットプラント (処理能力2t/日) では粉状に近い良好な糖化原料が得られましたが, 80t/日の本装置で得られたものは, 糖化原料として不良な蒸解度が低い綿状のもので, 後の工程に深刻な影響を与えることになりました。粉末状の原料を想定した糖化原料の洗浄・乾燥工程では, 脱水・乾燥が不十分になり, 目標水分の8%を超える12%程度にとどまりました。このため主加水分解工程での糖化率が低下し, これに対処するため酸混合比を増加した結果, 膜脱酸工程では負荷の増大や微粒リグニン濾過機の極端な能力不足によるリグニンの除去不良, あるいは脱酸の進行に伴って生ずる溶解性リグニンの脱酸槽内への沈積による効率の低下などの問題が生じました。後加水分解工程では加熱処理槽のガラスライニング破損, アミン脱酸工程では, 糖液中の溶解性リグニン様物質などの影響でアミン溶液と

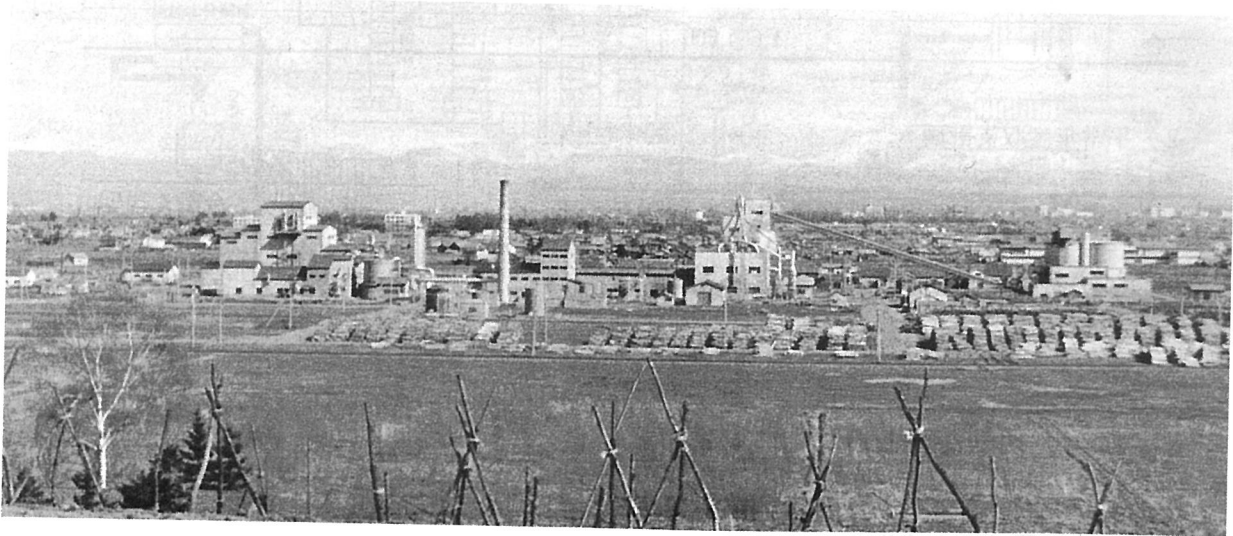


写真1 完成した工場の全景  
(右からチップ, 加水分解, ボイラー, 左前酵母, 左後アミン脱酸, ブドウ糖工場)

硫酸溶液の分離が阻害され、高価なアミンの損失がありましたし、硫酸濃縮工程でも装置のガラスライニングの破損、回収硫酸に含まれる少量の糖の炭化物によるトラブルなどが発生しました。

このように加水分解工程は満身創痍の状態になりましたが、蒸煮釜の性能改善をはじめ、後工程の諸問題を解決するために社員はもとより、装置メーカーの技術者、試験場の研究者が身分や立場を越え、総力をあげて努力を重ねました。この結果、昭和39年2月に工程全般にわたる総合的な対策が完成しましたが、資金面でついに行き詰まり、装置の改造は実現しないまま工場閉鎖にいたりしました。しかしこの厳しい状況にもかかわらず、ともかくも木材を原料とする320tの結晶ブドウ糖、110tのフルフラール、58tの食用酵母を世に送り出すことができたのは、従業員はじめ関係者の必死な努力の成果でした。

昭和39年3月末、工場は操業を停止し、同年12月に会社更生法の適用が決まりましたが、再建の目途がたらず、昭和42年11月に正式に終止符が打たれました。工場閉鎖によって、木材の酸糖化を体験した技術者は全国に散り、技術の継承は不可能になったほか、あれほど脚光を浴びていた木材糖化に関する研究も国内ではすべて放棄され、以後わが国で酸糖化法が日の目を見ることはありませんでした。

### 木材糖化研究の現状

わが国では、工場閉鎖後約20年後の昭和58年から、農林水産技術会議によるバイオマス変換利用研究が10年の期間で行われ、木質バイオマスについては蒸煮・爆砕処理による粗飼料、キシリトールの製造、爆砕残

渣であるリグノセルロースの酵素による加水分解、リグニン<sup>さ</sup>を原料とする炭素繊維の製造など、新規な総合利用技術の基本の一つが構築されました。しかし酵素法は耐酸装置を必要とせず、常温常圧で反応が進むという利点があり、澱粉などの加水分解では酸にくらべて有利ですが、木材セルロースのように結晶部分が多く、しかも残存リグニンを含む原料では糖化に要する時間が長く、また多量の酵素を必要とする欠点があり、酵素価格の大幅な低下、あるいは飛躍的に高い活性を持つ酵素産生菌の探索・育成が課題として残っています。

一方、資源大国であるアメリカでは、酸加水分解に関する研究が積極的に行われ、いくつかの方法が提案されています。これらはいずれも連続プロセスで、例えばAmerican Can Processでは、硫酸濃度1.5%、205℃、4.5分の処理でフルフラールとブドウ糖液を取得し、ジョージア工科大学（GIT）法では、連続爆砕装置を用いて24kg/cm<sup>3</sup>の蒸気で2分の前加水分解を行い、フルフラールを分離後0.4%苛性ソーダでリグニンを抽出し、得られたリグノセルロースは同様な爆砕装置を用いて0.5～1%硫酸で200℃、5分以下の条件で糖化し、中和後固定化酵母でアルコールを製造するというものです。

一方、1992年に北海道法の産みの親の一人である、東京教育大学名誉教授の小林達吉先生は、加水分解時間の飛躍的な短縮と簡素な工程、新しい硫酸回収法を特徴とするアーカンサス大学法を紹介しました。この方法は70～72%硫酸を原料に対して7.2倍以上を混合し、50℃、10分処理後、酸濃度を40～50%に希釈し、90℃、20分で後加水分解したのちリグニンを分離します。硫酸を含む糖液は抽出塔に送り、10倍量（重量比）

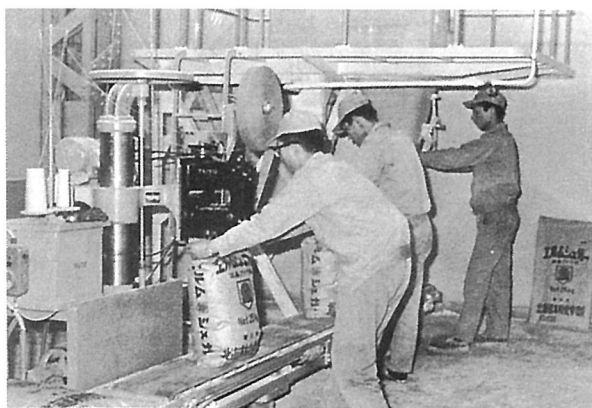


写真2 ブドウ糖包装



写真3 エルムシュガー即売会

の抽出液，例えばヘプタノールと向流させて硫酸をヘプタノールに移します。この液をベンゼンと向流抽出するとヘプタノールはベンゼンに移り，濃度72%の硫酸が分離します。硫酸は加水分解工程へ循環し，ベンゼン相は蒸留してヘプタノールを分離，循環使用します。糖液は残留硫酸を石灰で中和し，糖液と石膏を得る，というものです。この工程で後加水分解時間は計算の結果，100℃では5分に短縮することが可能とされ，また回収硫酸の濃度が高いので，硫酸濃縮工程が不要，設備費が格段に安価という利点があります。

一方，木材の加水分解ではリグニンの高度利用が不可欠ですが，硫酸リグニンは変質が極めて激しく，利用しにくい物質です。これを解決するための方法として，三重大学の船岡氏らによるリグニンと炭水化物の分離に関する研究が注目されます。これはリグノセルロースにフェノールを加えてリグニンと反応させたのち，72%硫酸を加えると炭水化物は加水分解され，リグニンを含むフェノール相と糖を含む硫酸相に分離します。フェノール相からは反応性が高いリグノフェノール誘導体を得られ，フェノールの種類を変えることにより，さまざまな機能を与えることが可能といわれます。この方法とアーカンサス大学法を組み合わせると，工程はすべて取り扱いが容易な液体の処理で構成することが可能になり，糖液相は後加水分解したのち有機溶剤で効率的に硫酸を回収し，糖液と化学原料としてのリグノフェノール製品を得ることができるなど，工程のさらなる簡素化と製品の多様化が可能になるといわれます。

しかしこれらの新しい方法で想定されている工場規模は従来の100～300t/日とは比較にならない1,000～2,000t/日が想定され，スケールメリットを追求して

います。わが国で，年間30万tにおよぶ原料を定常的に供給できるでしょうか。仮に1,000t/日の工場が必要とする原料林の面積は，年平均成長量が15t/ha・年，輪伐期5年とすれば48,000haになり，これを造成するために里山広葉樹林，休耕田，耕作放棄地などの低利用地を効率的に活用する必要があると思われます。また原料の多様化も考えられます。最近古紙があまって処分困っているそうですが，これはもちろん糖化原料として好適です。また農産廃棄物，例えばもみ殻は国内で年間約300万トンも発生しているといわれますが，前出の小林先生は，この利用についてつぎのように示唆しています。例えば，1,000tのもみ殻をクレゾール処理したのち硫酸で加水分解すれば，高純度シリカ200t，リグノクレゾール誘導体200t，ブドウ糖325t，キシロース123t，その他の糖54t程度で，シリカの用途は合成ゼオライト原料に，糖はいろいろな醗酵原料として用いることができるというのです。

このように新しい技術開発がなされている現在，原料面も含めた研究課題は山積していますが，すでに工業化の経験がある濃硫酸法が実用化への最短距離にあるのではないのでしょうか。過去の失敗の教訓を踏まえつつ，酸加水分解が将来の地球を支える基幹技術と位置づけ，国策として実用化研究を積極的に推進し，現在の高度な科学技術で再構築された高度利用システムを確立することが将来にいたるまで重要な意義を持つと思われる。

なお，冒頭に掲げた「北海道木材化学(株)の記録」(B5判330ページ)の入手については，北海道大学農学部森林科学科の三浦 清氏 (TEL 011-706-3850) にご連絡ください。