

各種デンプン糊化液のレオロジー的特性と糊化特性について

Rheological Characteristics of Gelatinized Dispersions and Pasting Properties of Several Starches

星 祐二*

Yuji HOSHI

It is well known that there are great differences among the flow characteristics of a non-Newtonian fluid such as gelatinized starch dispersions, depending on the analytical devices used and measurement conditions. So, this paper mainly investigated the rheological characteristics of starches from potato, sweet potato, corn, wheat and commercial thickening agents for baby foods ("Product A") and for aged persons with difficulty of chewing and/or swallowing ("Product B"). We used rheological instruments in our laboratory in addition to optical and scanning electron microscopic observations of the starch granules and time-dependant temperature declines of gelatinized starch dispersions.

Microscopic observations showed similar size and shape of each sample to those reported previously, while there were no starch granules in Product A or B, which seemed to be pre-gelatinized starch products.

The potato starch and Product B exhibited excellent temperature holding effects, while those of corn and wheat starches were inferior.

Since Product B began to partly gel during measurement with a rotational viscometer (TVC-5, Toki Sangyo Co., Ltd.), the apparent viscosity was not stable, but on average the value was the highest of all, followed by potato starch. The apparent viscosities of corn and wheat starches and Product A were low. The apparent viscosities of the samples examined were mostly constant over the period of time when those were subjected to shearing stress. Although the viscosity characteristics obtained with a vibration viscometer SV-10 (A&D Co., Ltd.) were similar to those of the rotational viscometer, the viscosity values in themselves were 1/5 to 1/10 of TVC-5.

It seemed that a hot-wire viscosity sensor Rheocatch SVM-100 (Snow Brand Milk Products Co., Ltd.), where the heat transfer coefficient change due to viscosity fluctuation was monitored, could be applied to assessing the gelatinization temperature of a starch.

1. 緒言

デンプンは、古来より我々の生活に欠かせない食品素材として幅広く使用されてきた。特に日本では、デンプンの原料となる農産物の歴史性や地域性から伝統的ともいえる固有用途が存在した。たとえば、コムギデンプンは関西地方の水産ねり製品・ういろろ・葛餅に、ジャガイモデンプンは関東地方の水産ねり製品・製菓用・オブラート、サツマイモデンプンは春雨といった具合に用途に応じて固有のデンプンが使用されてきた^{1,2)}。さらに、トウモロコシデンプンも水あめ・ブドウ糖や異性化糖の糖化原料として幅広く利用されている^{1,2)}。

デンプンが食品に使用されるのは、エネルギー源としての一次機能や味・テクスチャーなどの二次機能を活用するためであり、お菓子やねり製品の粘稠剤や離乳食・高齢者用食品のとろみ付けなど、粘性を高めるために用いられることも多い^{1-3,5)}。さらに最近では、従来の利用法に加え、デンプン由来の難消化性デキストリンの整腸・血糖調節・

血清脂質代謝改善効果（三次機能）、および粉末化や乳化安定剤としての加工特性などから新しく用途を拡大する動きも活発化してきている¹⁻³⁾。

デンプンのようなコロイド分散系では、測定機器や測定条件の相違によって、そのレオロジー的特性が大きく変動することが知られており⁴⁾、今回、各種デンプン糊化液の流動性に関する基礎データを得る目的で、デンプン粒の観察および糊化液の保温特性評価に加え、当研究室備品の粘度測定機器を用いて、代表的なデンプン糊化液の見かけの粘度測定を行うこととした。

デンプン懸濁液を加熱するとデンプン粒は膨潤し、糊化温度といわれる温度で複屈折および結晶構造が消失するとともに急激に粘度が増加する⁵⁻⁸⁾。糊化温度は起源となった植物に依存しており、一般にはトウモロコシデンプンのような穀類デンプンの糊化温度は、ジャガイモのような地下デンプンのそれよりも高い傾向にあることが知られている^{2,3)}。糊化デンプン液の加熱をさらに続けると、デンプン粒

*宮城学院女子大学食品栄養学科

が破壊するために糊化液の粘度が低下するが(「ブレイクダウン」^{2,5,8)}、これも地下デンプンは、粒子が大きく膨潤するために最高粘度が高く、ブレイクダウンの程度も大きい²⁾。一方、糊化液を冷却すると冷却速度によってゲル化したり、「spherocrystal」とよばれる直鎖状の構造体を形成したりするが、後者がいわゆる「老化」である⁹⁾。デンプンの糊化に影響する要因には、水分、粒径、調味料(糖類、塩類、食酢)、共存タンパク質や脂質、外力などがあり、一方、デンプンの老化に影響する要因としては、温度、水分、pH、分子形態、糊化程度、共存成分があるといわれている^{1,6,9)}。糊化温度の測定には、偏光顕微鏡、示差走査熱量計(DSC)、ビスコグラフに代表される回転粘度計などが用いられるが^{2,5)}、チーズ製造ラインの自動化を目指して開発された細線加熱式粘度計は¹⁰⁾、系の粘度を反映する熱伝達率の変化をモニタする測定機であり¹¹⁻¹³⁾、各種デンプン懸濁液の糊化温度測定に応用可能かどうかを合わせて検討することとした。

2. 実験試料と方法

1) デンプン

ジャガイモ、サツマイモ、コムギ、トウモロコシデンプンは和光純薬製のものをそのまま使用した。また、市販とろみ付与剤(離乳食用増粘剤「増粘剤A」と高齢者用食品向け増粘剤「増粘剤B」)も主成分がデンプンであることから測定試料とした。

2) デンプン粒の観察

(1) 光学顕微鏡による観察

各種デンプン試料を適量の水に分散後、スライドグラスに数滴取り、カバーグラスを載せて光学顕微鏡で観察した。デンプン粒の光学顕微鏡による観察は、島津製デジタルマイクロスコープGLB-1500MBITを用いて400倍で行った。

(2) 走査型電子顕微鏡(SEM)による観察

両面テープを貼付したSEM用試料台に各デンプン粉末を塗布し、金を蒸着後(Eiko IB-3 Ion Coater)、日立製走査型電子顕微鏡Miniscope TM-1000による観察を行った。

3) デンプン糊化液の保温特性

(1) 室温放置

200mL容のトールビーカーに各種デンプン試料6gと蒸留水194mLを加えて3%デンプン懸濁液とし、90℃の湯浴で30分間ガラス棒を用いて攪拌しながら加熱・糊化させた。その後、室温に放置し、デンプン液の温度が30℃に低下するまでの経時変化をデジタル式携帯温度計(Tanita TT-50)を用いて記録した。

(2) 恒温槽放置

上記(1)と同様にして3%各種デンプン懸濁液を調製し、糊化させた。その後、糊化液の入ったトールビーカーを30℃に設定した恒温槽(Taitec Thermo Minder SP-12Rおよ

びCool Bath CB-40)内に放置し、デンプン糊化液の温度が30℃に低下するまでの経時変化を記録した。

4) 回転粘度計による粘度測定

東機産業製回転粘度計TVC-5型と付属のNo.3ローターを用いて、各デンプン糊化液の見かけの粘度の時間依存性を測定した。用いた粘度計の(見かけの)ずり速度が固定式であったため、各種デンプン懸濁液の濃度は、ジャガイモ3%、サツマイモ5%、トウモロコシ7.5%、コムギ7.5%、増粘剤A 7.5%、増粘剤B 0.75%とした。200mL容のトールビーカーに所定量の各デンプン試料と蒸留水を加え、90℃の湯浴で30分間攪拌して糊化させた後、上記3) - (2)で用いた恒温槽中で30℃まで冷却してから室温で40分間測定を行った。

5) 音叉型粘度計による粘度測定

上記4)で用いた回転粘度計は、その回転数が固定式であり、装置の測定限界のために同一濃度での粘度測定が困難であったこと、および異なる粘度計による測定データの収集を目的として、A&D製音叉型粘度計SV-10を用いた測定も行った。上記4)と同様にして調製した各デンプン糊化液40mL(30℃)をSV-10付属の専用測定容器に移し、30分間粘度測定を行った。

6) 細線加熱式粘度計による糊化過程のモニタリング

雪印製細線加熱式粘度計レオキャッチSVM-100を用いて、加熱過程におけるデンプン懸濁液の熱伝達率変化を測定した。レオキャッチには発熱測温センサーと測温センサーがあり、両センサー間の距離を固定したうえで、200mL容のビーカー中のデンプン懸濁液に所定の深さ(ビーカーの底から約2cm)までセンサーを挿入し、湯浴中で5分間、25℃(湯浴の水温)で放置後、95℃まで45分間かけて湯浴の水温を上げ、その後30分間湯温を維持するようにした。加熱は温度コントローラー(アズワン製TXN-700B)のACアウトレットに湯浴(アズワン製Analog Bath EW-100)を接続し、プログラム化して行った。加熱中はビーカーに攪拌子を入れ、絶えずデンプン懸濁液が攪拌されるようにし、0.5、1.0、3.0、5.0%濃度の各デンプン懸濁液の加温中の両センサーの温度変化を記録した。なお、コムギデンプンについては7.5および10%濃度の測定も行った。また、増粘剤Aは0.5、1.0、3.0%、増粘剤Bは0.5および1.0%について測定を行った。計測は、レオキャッチからのアナログデータをAD変換後、コンピュータに取り込み¹⁴⁾、CSVファイル形式で保存した。解析およびグラフ化はMicrosoft製スプレッドシート「Excel」を用いて行った。

3. 結果と考察

1) デンプン粒の観察

(1) 光学顕微鏡による観察

島津製デジタルマイクロSCOPE GLB-1500MBITを用いて、ジャガイモ、サツマイモ、トウモロコシ、コムギデンプンと市販増粘剤AおよびBのデンプン粒観察（400倍）を行った結果を図1に示した。図のように光学顕微鏡では、糊化前のジャガイモデンプン粒は大きな楕円形をしており、その表面は滑らかのものであった。サツマイモのデンプン粒は五角形のように角ばっており、トウモロコシのデンプン粒も小さく角ばった形状をしていた。コムギのデンプン粒も粒径はジャガイモに比べると小さいものの球状をしており、調理科学の教科書などに記載されているものと同じ形状をしていることが確かめられた¹⁵⁾。一方、市販の増粘剤には両者とも、光学顕微鏡ではデンプン粒の存在は確認できなかった。

(2) 走査型電子顕微鏡による観察

ジャガイモ、サツマイモ、トウモロコシ、コムギ由来のデンプンと市販増粘剤を試料として、日立製走査型電子顕微鏡Miniscope TM-1000による観察を行った。ジャガイモ、サツマイモ、トウモロコシ、コムギデンプンは800倍で、市販増粘剤は400倍で観察し、結果を図2に示した。この図から、ジャガイモ、サツマイモ、トウモロコシ、コムギについては光学顕微鏡と同様の形状をしていた。市販増粘剤はともに、走査型電子顕微鏡で観察するとパン粉のような不規則な形状をした粉体が認められた。デンプン粒は、その起源となる植物の種や生育する場所に特徴的なものであり、植物によって大きさや形状が非常に異なっているといわれているが^{1,3,9,16-19)}、今回の検鏡結果においても、文献のSEM像と同様の形状をしていることが確認できた²⁰⁾。

2) デンプン糊化液の保温特性

(1) 室温放置

90℃で糊化させた3%各デンプン糊化液を室温に放置した場合の液温の経時的な温度変化を測定し、結果を図3に示した。増粘剤B、ジャガイモ、サツマイモ、増粘剤A、コムギ、トウモロコシデンプンの順に緩やかな温度低下を示した。30℃まで冷却するのに要した時間を表1に示したが、増粘剤Bでは194分、ジャガイモ148分、サツマイモ142分と温度低下に要する時間が長いのにに対し、コムギ128分、トウモロコシは114分と比較的短かった。また、増粘剤Aは放冷直後こそ温度低下が大きかったが、30℃に達するまでの時間は146分とジャガイモデンプンに次ぐものであった。以上から、増粘剤B、ジャガイモ、増粘剤Aおよびサツマイモデンプンは保温効果の高いデンプンと考えられた。高齢者用食品向けの増粘剤である増粘剤Bは、料理にとろみをつける用途だけでなく、冷却することでゼリーを作ることもできるとされているが、室温放置中にゲル化したことも温度低下が遅くなる一因と考えられた。なお、この品温変化の測定は、夏季の数日間にわたって室温で行ったものであり、測定日ごとの室温の差異がデンプン糊化液の品温低下に影響した可能性も考慮する必要がある。

(2) 恒温槽放置

90℃で糊化させた各デンプン分散液を30℃の恒温槽中で冷却し、デンプン糊化液の温度が30℃に低下するまでの経時変化を記録し、結果を図4に示した。今回も市販増粘剤Bがもっとも緩やかな温度低下を示すとともに測定開始直後は市販増粘剤Aがそれに次いだ。ジャガイモ、サツマイモ、トウモロコシ、コムギデンプンは、恒温槽での放置を開始した2～3分の間に急速な温度低下を示し、その後、緩やかに低下した。

30℃まで冷却するのに要した時間も表2に示したが、市販増粘剤Bが56分、ジャガイモとサツマイモが36分、市販増粘剤Aが26分、トウモロコシが18分、コムギデンプンが14分となった。この結果は室温放置の結果とは必ずしも一致しないものの、市販増粘剤Bとジャガイモデンプンは室温放置と同様、高い保温性をもつものと考えられた。コムギとトウモロコシデンプンについては、順序が室温放置とは逆になったものの、これらのデンプンの保温効果は低いものと考えられた。

3) デンプン糊化液の見かけの粘度

(1) 回転粘度計による粘度測定

測定に供したデンプン液の濃度は、ジャガイモが3%、サツマイモが5%、市販増粘剤Bが0.75%とし、トウモロコシ、コムギおよび市販増粘剤Aは、粘度計の測定下限との関係で7.5%とした。90℃の湯浴で30分間攪拌して糊化させた後、恒温槽中で30℃まで冷却してから40分間測定を継続し、その間における見かけの粘度変化を記録し、図5に結果を示した。図のように5%サツマイモデンプンと3%ジャガイモデンプン糊化液はともに約3,000mPa・sという粘度値を示し、濃度が同一ならばジャガイモ、サツマイモ、トウモロコシ、コムギデンプンの順になると考えられた。市販増粘剤Bは0.75%という低濃度で4,000～4,500 mPa・sの粘度値を示したが、粘度の変動が大きく、これは30℃まで冷却する過程で一部ゲル化したためと考えられた。一方、市販増粘剤Aは7.5%という高濃度にもかかわらず、もっとも低い粘度値を示した。

各デンプン分散液の見かけの粘度の時間依存性については、ジャガイモデンプンは、ずり付与後15分にかけて若干のレオパクシー的挙動を示し、トウモロコシデンプンは若干のチキソトロピー性流動を示したが、それ以外のデンプン糊化液には時間依存性は認められなかった。一般に、デンプン懸濁液は典型的なダイラタント流動を示すといわれているが²¹⁾、今回は、一定のずり速度下におけるデンプン糊化液の流動性を測定しているため、ダイラタント流動やずり希薄化流動の評価は行えない。

(2) 音叉型粘度計による粘度測定

今回使用した回転粘度計は、回転数が固定であるため装置の測定限界内に入るようデンプン懸濁液の濃度を調整して測定を行ったが、同一濃度における粘度値の比較も必要

なため、A&D製音叉型粘度計SV-10を用いて、すべてのデンプン糊化液について、3%濃度での粘度を測定し、結果を図6に示した。図のように、市販増粘剤Bがもっとも高い粘度を示し、ジャガイモ、サツマイモ、市販増粘剤A、トウモロコシデンプンがそれに続き、コムギデンプン糊化液の粘度がもっとも低かった。増粘剤Bに測定時間とともに粘度が若干上昇するレオペクシー性が認められた以外、時間依存の傾向はみられなかった。一方、各デンプン糊化液の粘度値自体は、回転粘度計で得られたものとは大きく異なっており、デンプン糊化液の非ニュートン流体性、すなわち機器依存性が改めて確かめられた。なお今回は、TVC-5型回転粘度計およびSV-10音叉型粘度計とも、機器の都合で恒温水を循環させることができず、温度管理の点で問題も残るが、図3のように30℃の各デンプン糊化液の液温の変動は、室温放置の場合、それほど大きくはなく、粘度測定におよぼす影響は少ないものと考えられた。

4) 細線加熱式粘度計による糊化過程のモニタリング

最初に、ビーカー内の水温が制御プログラム通りに変化しているかどうかを検証することとし、結果を図7に示した。今回の水温制御は、コントローラーのACアウトレットに接続した湯浴のヒーターへの通電量を調節して行っており、ビーカー内の水温を直接制御しているものではない。制御開始後5分間はヒーターへの通電は行わず、5分後、通電を開始したが、図7には通電開始以降のビーカー内の水温を示した。通電開始後、50分ほどでビーカー内水温が88℃まで上昇し（測温センサーによる計測値）、その温度が30分間維持されていることが確認できた。

測定に供するデンプン懸濁液の濃度を0.5、1、3、5%とすることとしたが、コムギ懸濁液は粘度が低く、後述するセンサー間の温度差上昇が5%懸濁液では認められなかったため7.5と10%も測定することとした。結果を図8～13に示した。グラフ中の赤い曲線（“SensorA”）は発熱測温センサー、青い曲線（“SensorB”）は測温センサー、緑色の曲線（“A-B”）は両センサー間の温度差を表し、レオキャッチによる粘度測定の原理が液体の粘度増加につれて熱の伝達がしにくくなることにもとづいていることから、両センサー間の温度差が大きくなると粘度が上昇していることを示している。図8～10に示したように、ジャガイモ、サツマイモ、トウモロコシデンプンでは濃度が0.5%の場合、加熱過程において両センサー間の温度差がほぼ一定であったのに対し、5%濃度では加熱中の糊化過程を反映し、センサー間の温度差の上昇が認められた。一方、コムギデンプンでは5%濃度では両センサー間の温度差は認められず（図11-c）、10%濃度でようやく温度差の上昇が認められた（図11-b）。デジタルマイクロスコープGLB-1500MBITを用いて5%濃度のジャガイモデンプンとコムギデンプンの糊化過程のデンプン粒の観察も行い、検鏡結果を図8-dと11-dに示した。ジャガイモデンプンでは、両センサー間の温度

差が上昇し始めた時点におけるデンプン粒は、加熱前の形状と比較して膨張し、相互に干渉している状態が観察された。一方、レオキャッチによる温度差の上昇が認められなかった5%コムギデンプンの80℃では、デンプン粒の膨張は認められたものの、デンプン粒の輪郭はまだ明瞭なため、両センサー間の温度差が上昇しなかったものと考えられた。

デンプンのビスコグラムは、特にジャガイモデンプン懸濁液の場合、糊化後にブレークダウンとよばれる顕著な粘度低下を示すことが知られている¹⁾。今回のレオキャッチによる1%ジャガイモ懸濁液のモニタリングでは、測定開始55分以降に両センサー間の温度差が低下しており、ブレークダウンを反映している可能性も考えられたが、5%懸濁液ではそのような粘度低下は認められず、この点については今後検討する必要がある。

一方、市販増粘剤では温度差の上昇は認められなかったが、これら市販増粘剤にはデンプン粒が存在しなかったこと（図1）、および α -デンプンのSEM像²⁾と類似していたこと（図2）から、デンプンが糊化した状態の製品ではないかと考えられた。

レオキャッチの温度差曲線を微分して得られる微分スペクトル（図中の水色の曲線）のピーク位置を糊化温度として、各デンプンの糊化温度を評価した結果を表3に示した。両センサー間の温度差の数値微分は下記の式から求め、さらに、グラフ化にあたっては50個のデータによる移動平均による近似曲線で表示した。

$$\frac{y_{n-2} - 4y_{n-1} + 3y_n}{2\Delta t}$$

ここで、 Δt は測定の時間間隔で、今回は0.04(分)となる。

地下デンプンであるジャガイモとサツマイモは65～75℃で糊化したが、穀類デンプンであるトウモロコシとコムギの糊化には85℃前後の高い温度が必要であった。デンプンの糊化温度は、偏光顕微鏡による複屈折の消失温度から決定したり、DSCやアミログラフを用いて求めたりするが、アミログラフによる糊化温度は他の方法に比べ高い傾向を示すことが知られている²⁾。今回、レオキャッチの測定により得られた各デンプン試料の糊化温度の結果は、アミログラフの結果とよく一致しており²⁾、細線加熱式粘度計がデンプンの糊化特性の評価に応用できる可能性が示された。

図14に、水および各種デンプンの0.5または5%懸濁液の温度上昇の過程を比較した結果を示したが、温度測定はレオキャッチの測温センサーからのデータを記録して行った。水と0.5%濃度の各デンプン懸濁液の加温にともなう温度上昇の経過は、水は先述の結果と同様、制御プログラム通りに昇温したが、各デンプン液は水よりも速い温度上昇を示した。同様の結果は5%濃度の各デンプン液についても認められ、デンプンの吸水過程における膨潤熱を反映しているものと考えられた¹⁾。

5. 要約

1) 各デンプン試料を光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡で観察したところ、文献に記載されているものと同様の形状を有していたが、市販離乳食用とろみ付与剤と高齢者用食品向け増粘剤には、光学顕微鏡による観察ではデンプン粒は認められず、パン粉のような形状となっていることが走査型電子顕微鏡観察により示された。

2) 保温効果については、ジャガイモデンプンと高齢者用食品向け増粘剤が室温放置、恒温槽放置とも高く、トウモロコシとコムギデンプンのそれは低いものであった。

3) 回転粘度計による各種デンプン試料の見かけの粘度を測定したところ、高齢者用食品向け増粘剤の粘度が非常に高く、測定中に一部ゲル化した。ジャガイモデンプンがデンプン試料の中ではもっとも高い粘度を示し、トウモロコシとコムギデンプン糊化液の粘度は低く、さらに同じ市販の増粘剤でありながら、離乳食用のとろみ付与剤の粘度がもっとも低かった。同一濃度における音叉型粘度計を用いた測定でも高齢者用食品向け増粘剤の粘度がもっとも高く、ジャガイモデンプンの粘度がそれに続き、それ以外のデンプン試料はいずれも低い値を示した。一方、各デンプン試料の粘度値自体は回転粘度計による測定値の1/5から1/10以下となり、機器依存性が改めて確認された。

4) 細線加熱式粘度計は、デンプン懸濁液の糊化温度測定に応用可能であると考えられた。

6. 謝辞

実験に協力していただいた本学卒業生 草葉 弘子氏と渡邊 真衣氏に感謝いたします。

7. 引用文献

- 1) 高橋 禮治、「でん粉製品の知識」、幸書房（1996年）。
- 2) 不破 英次、小巻 利章、檜作 進、貝沼 圭二編集、「澱粉科学の事典」、朝倉書店（2003年）。
- 3) 川端 晶子、「植物起源を異にする澱粉粒の諸性質および澱粉ゲル・ゾルの物性」、食品の物性（第18集）、食品資材研究会（1994年）。
- 4) 小野木 重治、「レオロジー要論」、槇書店（1980年）。
- 5) H.-D. Belitz, W. Grosch, "Food Chemistry", Springer-Verlag (1987).
- 6) J. M. deMan, "Principles of Food Chemistry", Kluwer Academic/Plenum Publishers, (1999).
- 7) R. K. Owusu-Apenten, "Introduction to Food Chemistry", CRC Press, (2005).
- 8) 二国 二郎、「デンプンハンドブック」、朝倉書店（1971年）。
- 9) 山田 哲也、松井 秀親、小栗 武浩、伊藤 友美、安達 卓生、久松 眞、「澱粉糊の凍結、低温処理による分子変化」、*J. Appl. Glycosci.*, **52**, 299-304 (2005).
- 10) T. Hori, "Objective Measurements of the Process of Curd Formation during Rennet Treatment of Milks by the Hot Wire Method", *J. Food Sci.*, **50**, 911-917 (1985).
- 11) 堀 友繁、「細線加熱法による流体の粘度計測」、センサ技術、**7**, (8)、74-76 (1987年)。
- 12) O. Miyawaki, Y. Sato, T. Yano, K. Ito and Y. Saeki, "Fundamental Aspects of Viscosity Monitoring by the Hot Wire Technique", *J. Food Sci.*, **55**, 854-857 (1990).
- 13) O. Miyawaki, H. Kuwaharada, M. Yoshikawa, T. Yano, K. Ito and Y. Saeki, "Shielded Hot-wire Viscosity Sensor On-line for a Flowing System Using a Shield of High Thermal Conductivity", *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 1816-1819 (1993).
- 14) 星 祐二、「細線加熱法を利用した豆乳および牛乳の凝固過程解析について」、宮城学院女子大学生生活科学研究報告、**29**, 26-33 (1997年)。
- 15) 川上 いつ彙、「光学・電子顕微鏡図譜 デンプンの形態」、医歯薬出版（1975年）。
- 16) T. Noda, S. Tsuda, M. Mori, S. Takigawa, C. Matsuura-Endo, N. Hashimoto and H. Yamauchi, "Properties of Starches from Potato Varieties Grown in Hokkaido", *J. Appl. Glycosci.*, **51**, 241-246 (2004).
- 17) T. Horibata, M. Nakamoto, H. Fuwa and N. Inouchi, "Structural and Physicochemical Characteristics of Endosperm Starches of Rice Cultivars Recently Bred in Japan", *J. Appl. Glycosci.*, **51**, 303-313 (2004).
- 18) 北原 兼文、「サツマイモの器官別デンプンの特性に関する研究」、*J. Appl. Glycosci.*, **52**, 45-50 (2005)
- 19) 池田 大輔、石橋 憲一、野田 高弘、弘中 和憲、小畦 浩、山本 和夫、「低温貯蔵した馬鈴薯から単離された澱粉の物理化学的特性」、*J. Appl. Glycosci.*, **52**, 387-391 (2005).
- 20) 種谷 真一、木村 利昭、相良 康重、「食品・そのミクロの世界—電子顕微鏡による立体写真集—」、槇書店（1991年）。
- 21) 尾崎 邦宏、「レオロジーの世界」、工業調査会（2004年）。

表 1. 各種デンプン糊化液の温度低下時間 (室温放置)

デンプン試料	30℃に達する時間 (分)
ジャガイモ	148
サツマイモ	142
トウモロコシ	114
コムギ	128
市販増粘剤 A	146
市販増粘剤 B	194

表 2. 各種デンプン糊化液の温度低下時間 (恒温槽放置)

デンプン試料	30℃に達する時間 (分)
ジャガイモ	36
サツマイモ	36
トウモロコシ	18
コムギ	14
市販増粘剤 A	26
市販増粘剤 B	56

表 3. 各種デンプンの糊化温度

デンプン試料	加熱時間 (分)	糊化温度 (℃)
ジャガイモ(5%)	27.0	66.0
サツマイモ(5%)	35.6	74.4
トウモロコシ(5%)	57.8	87.3
コムギ(10%)	49.8	84.9

各種デンプン糊化液のレオロジー的特性と糊化特性について（星）

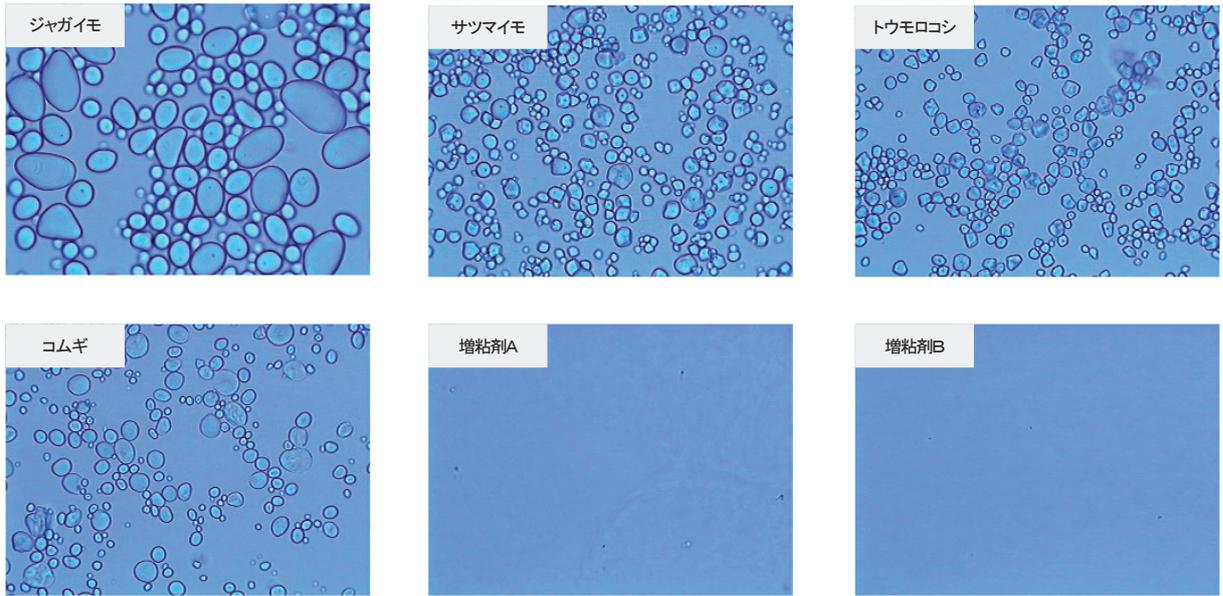


図1. 光学顕微鏡によるデンプン粒の観察（400倍）

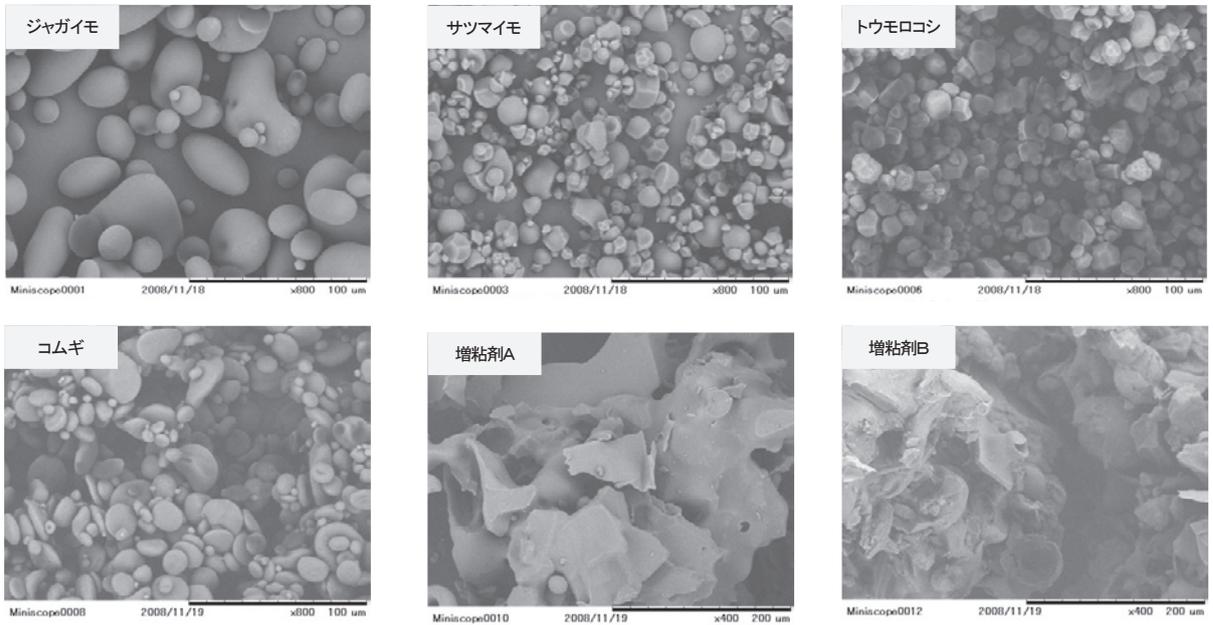


図2. 走査型電子顕微鏡によるデンプン粒の観察
 ジャガイモ, サツマイモ, トウモロコシ, コムギ（800倍）
 増粘剤A, 増粘剤B（400倍）

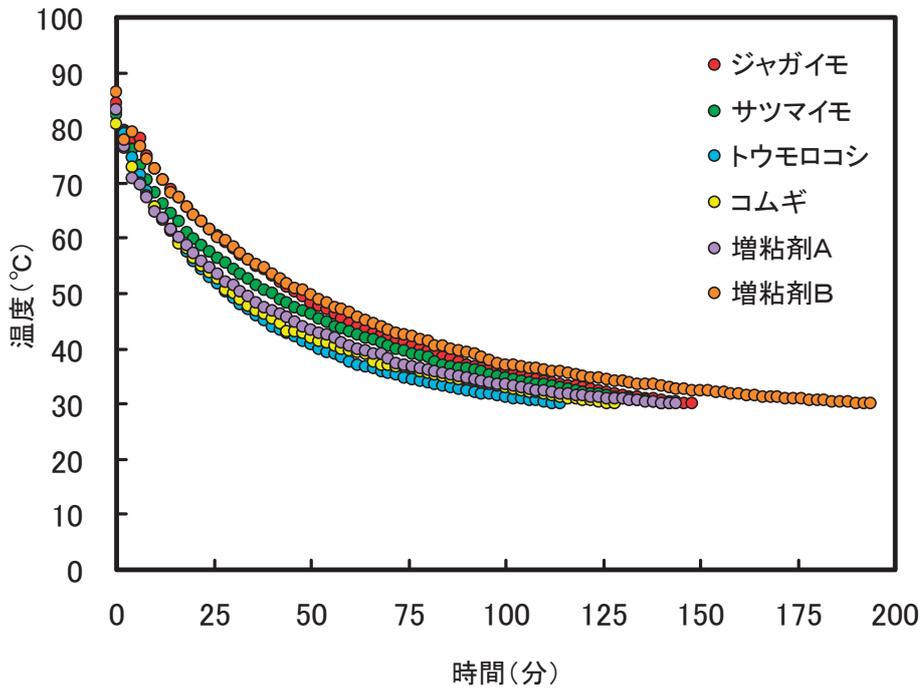


図3. 各種デンプン糊化液の温度低下曲線 (室温放置)

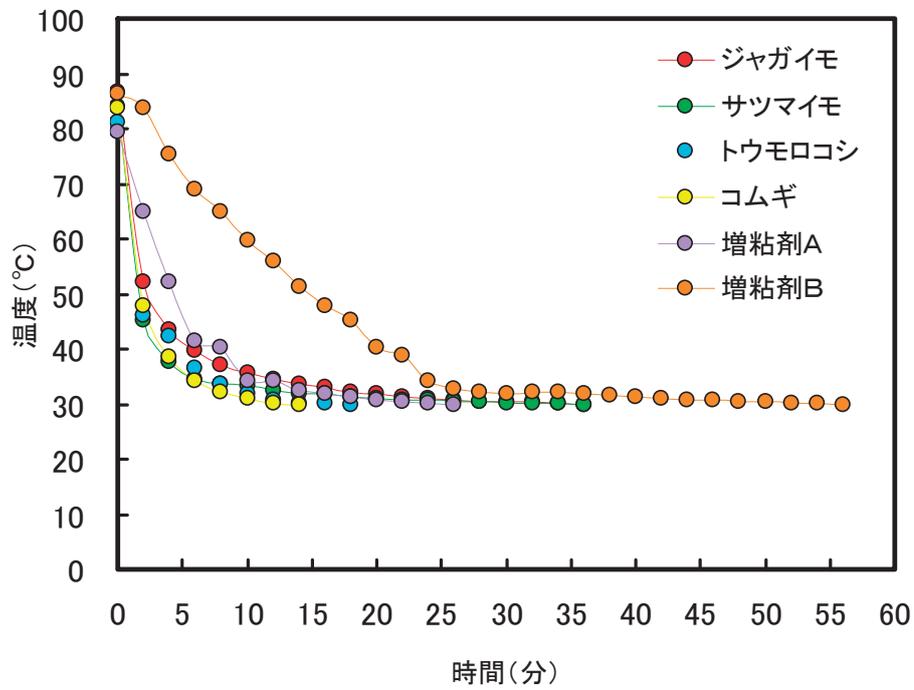


図4. 各種デンプン糊化液の温度低下曲線 (恒温槽放置)

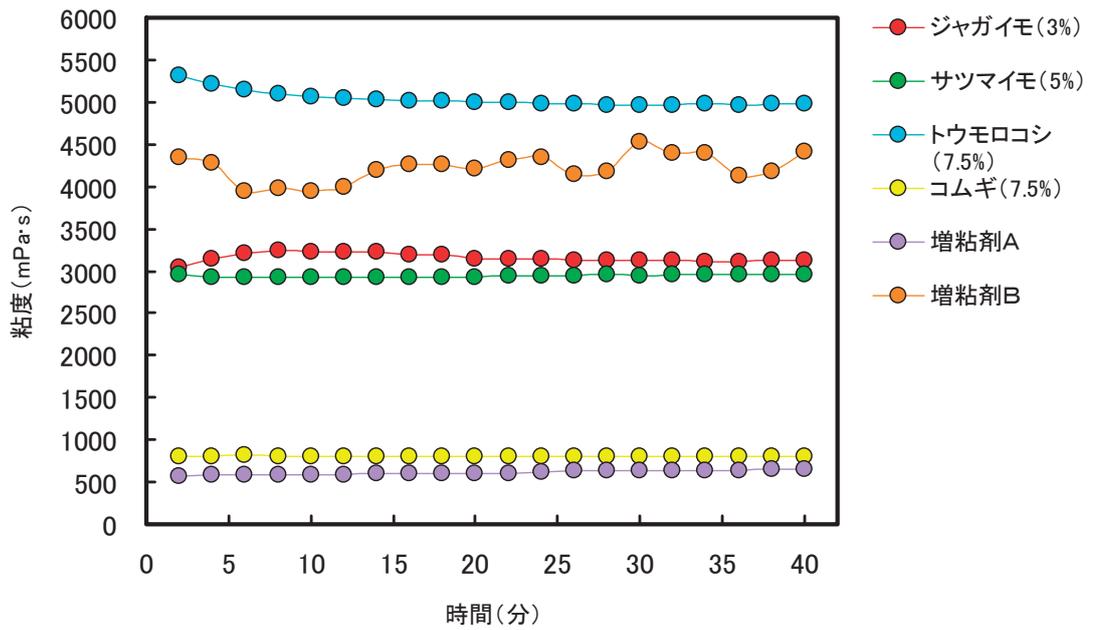


図5. 各種デンプン糊化液の見かけの粘度におよぼす付与時間の影響（回転粘度計）

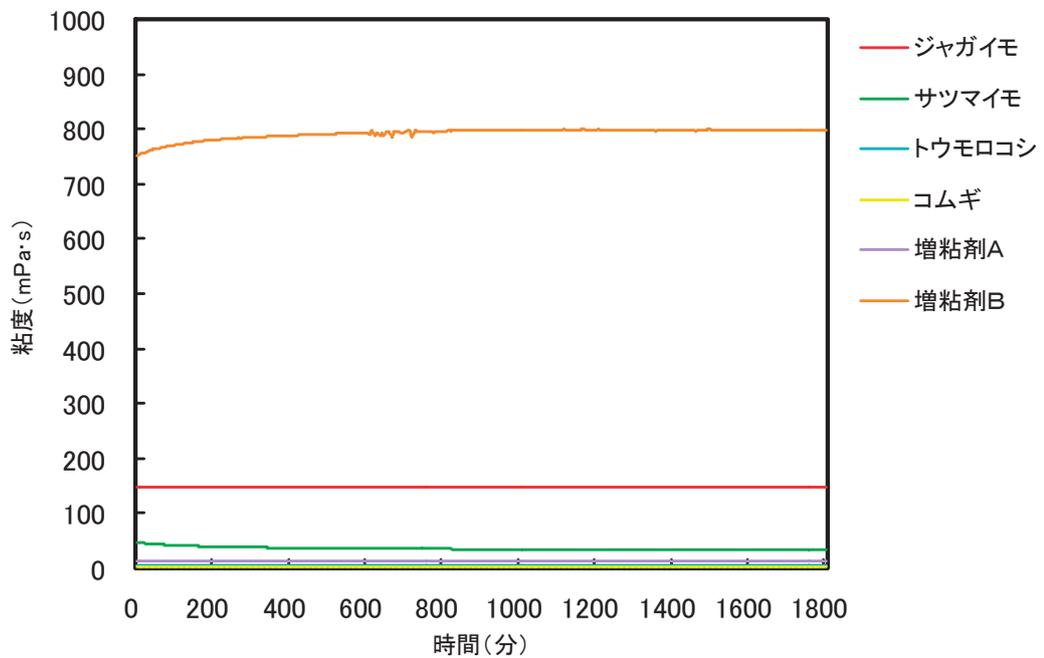


図6. 各種デンプン糊化液の見かけの粘度の時間依存性（音叉型粘度計）

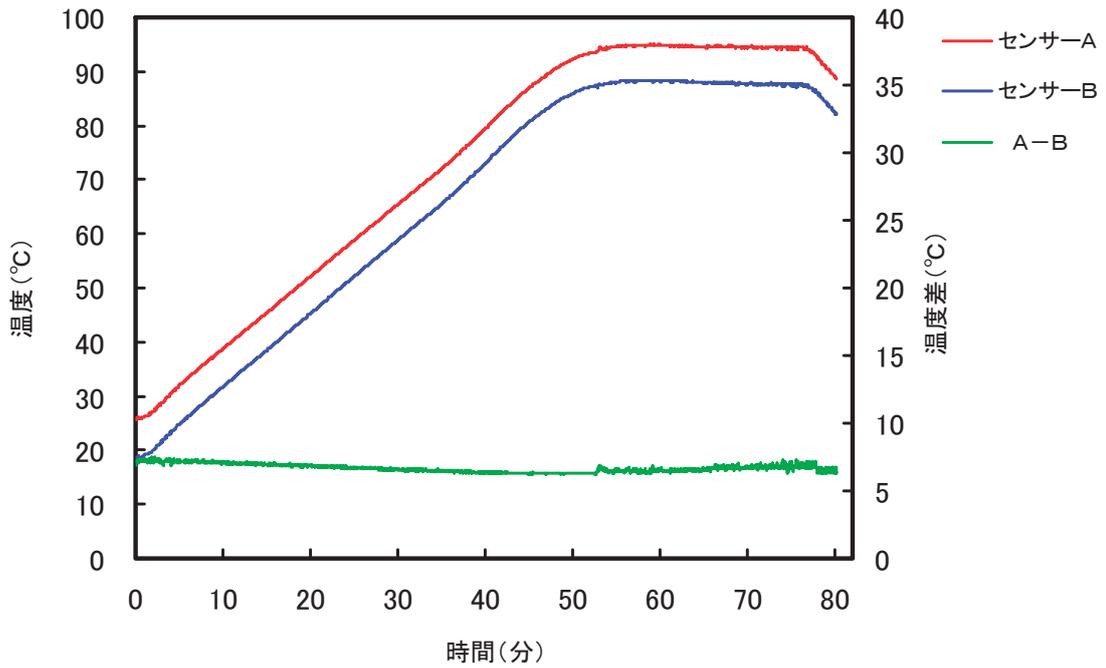


図7. 温度コントローラーによる水温制御

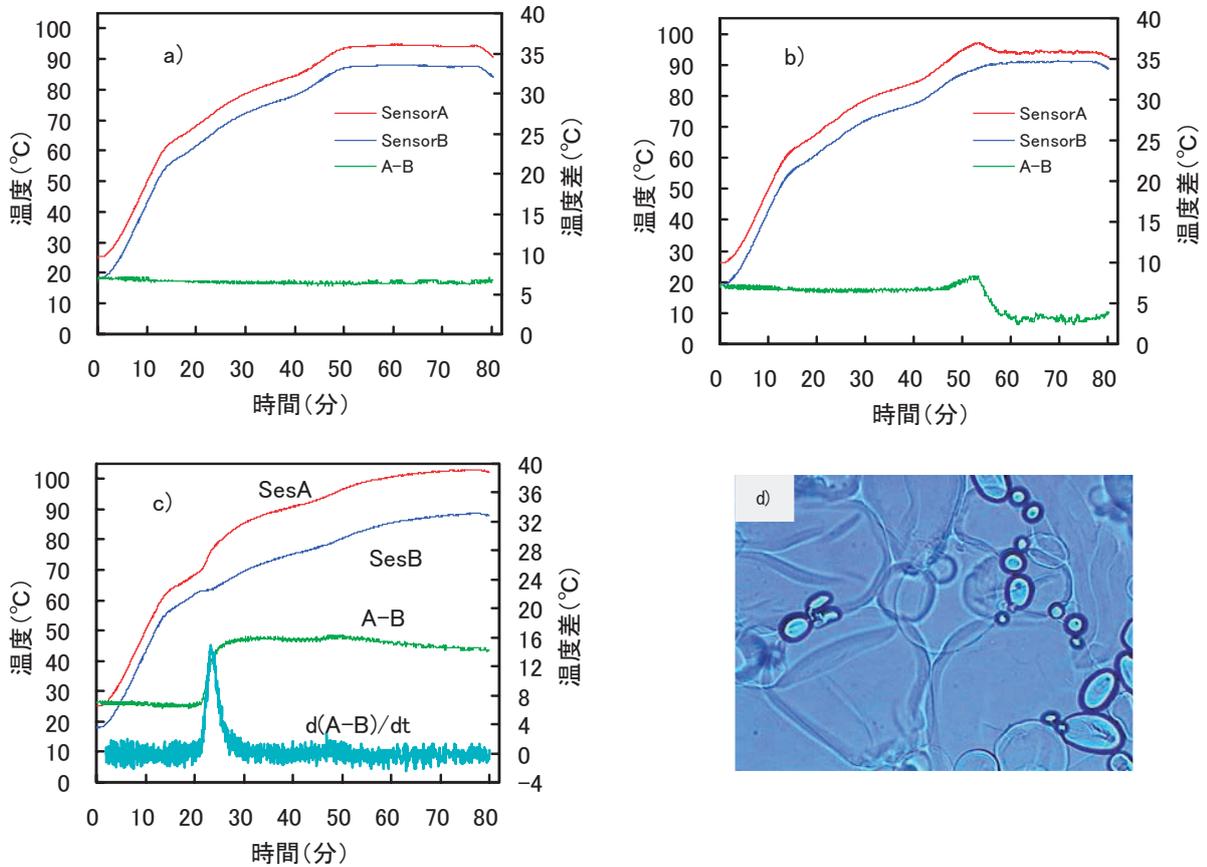


図8. ジャガイモデンプンの糊化過程 (細線加熱式粘度計)
 a) 0.5% b) 1% c) 5%
 d) 微分スペクトルピーク時の光学顕微鏡による観察像 (400倍)

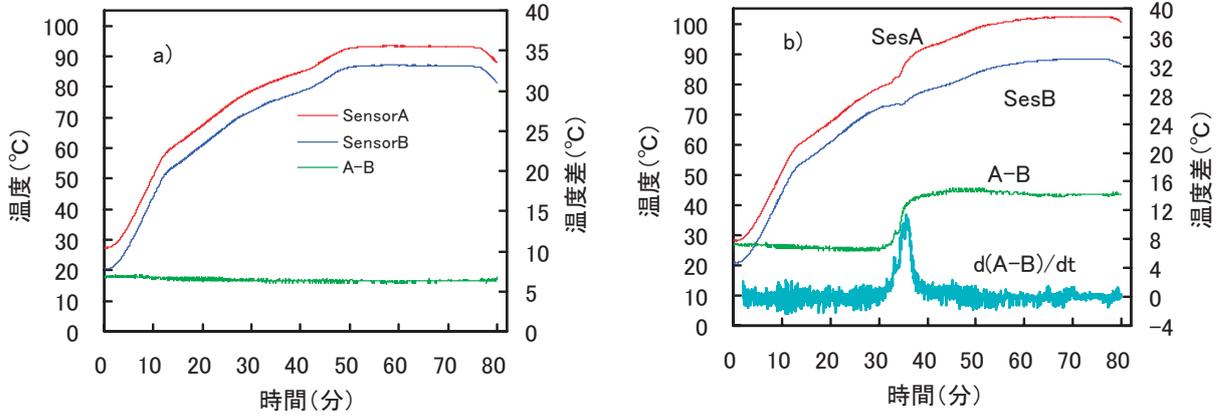


図9. サツマイモデンプンの糊化過程（細線加熱式粘度計）
a) 0.5% b) 5%

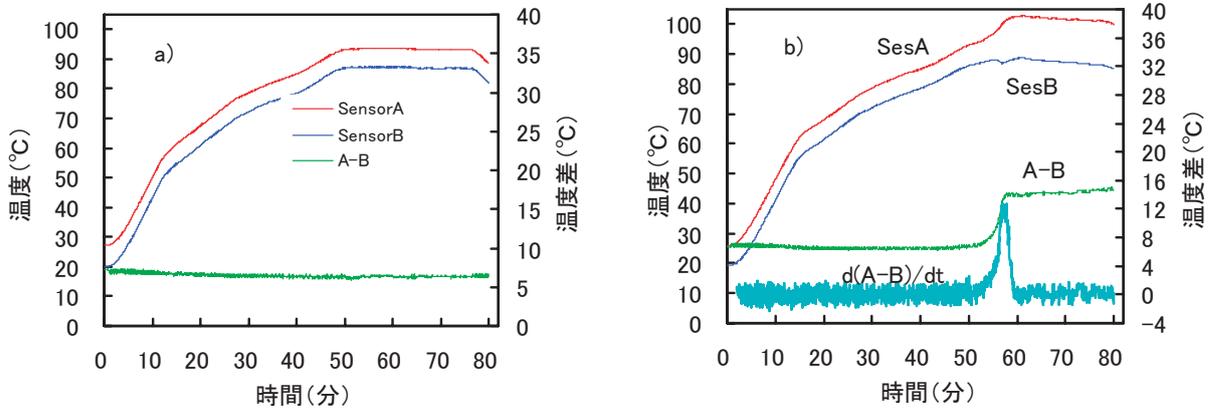


図10. トウモロコシデンプンの糊化過程（細線加熱式粘度計）
a) 0.5% b) 5%

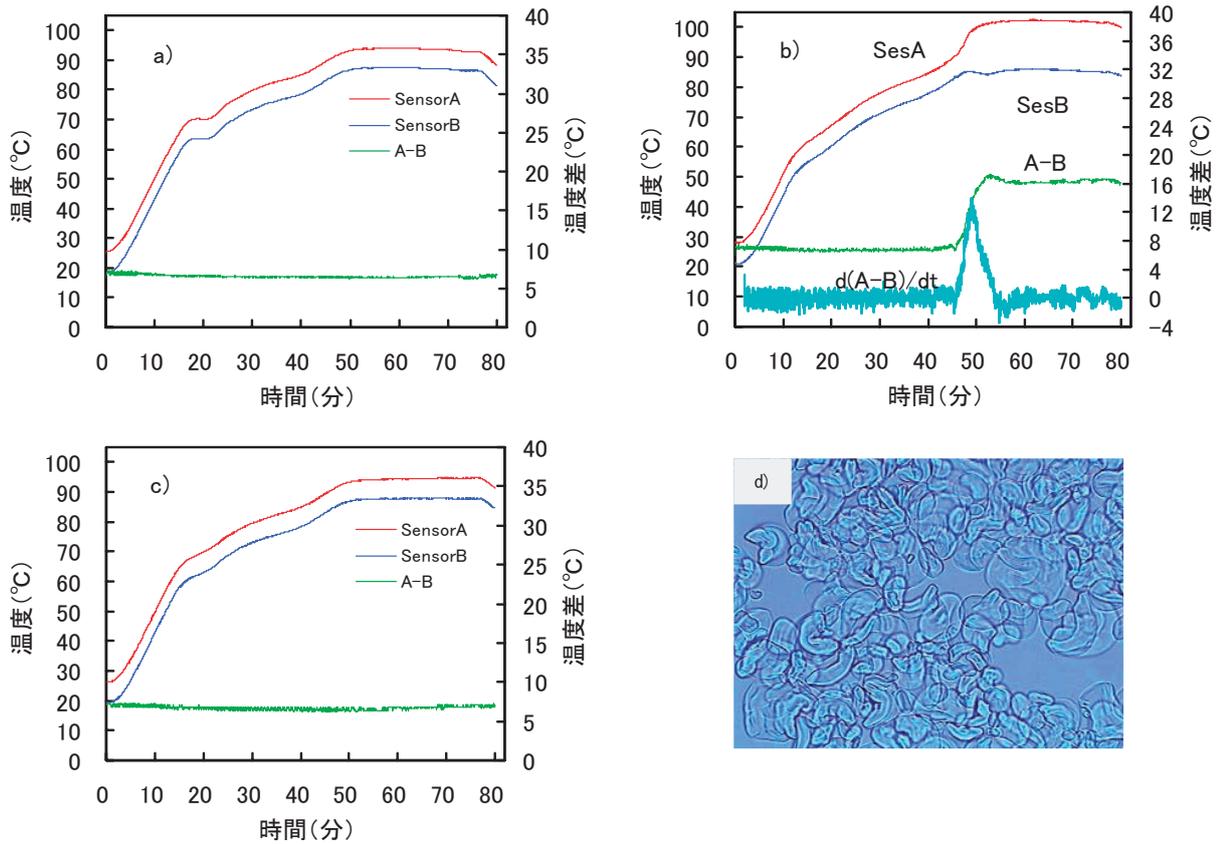


図 1 1. コムギデンプンの糊化過程 (細線加熱式粘度計)
 a) 0.5% b) 10% c) 5%
 d) 5%コムギデンプンの80°Cにおける光学顕微鏡による観察像 (400倍)

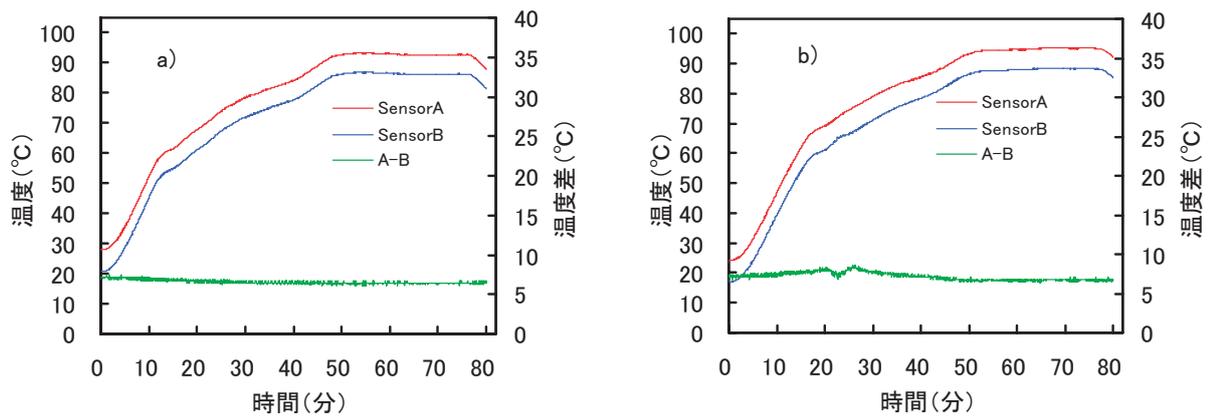


図 1 2. 増粘剤Aの糊化過程 (細線加熱式粘度計)
 a) 0.5% b) 3%

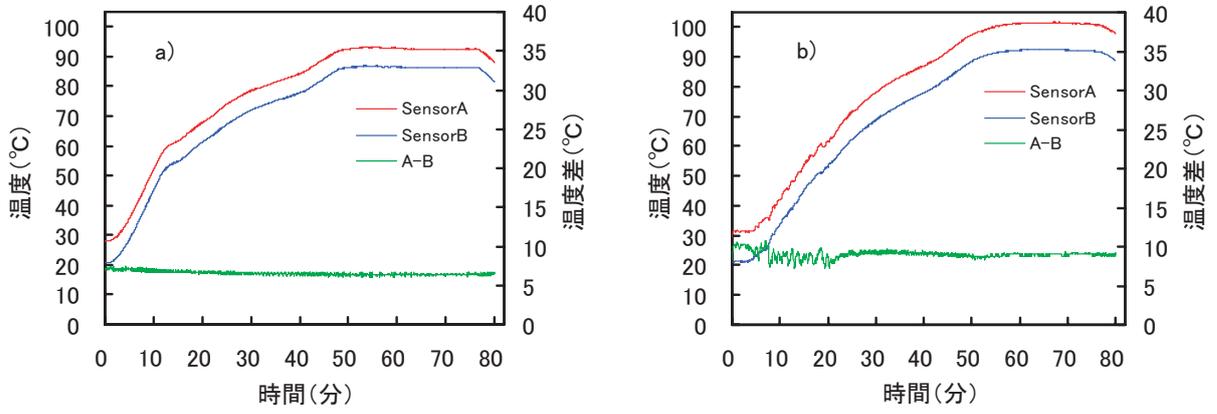


図 1 3. 増粘剤 B の糊化過程（細線加熱式粘度計）
a) 0.5% b) 1%

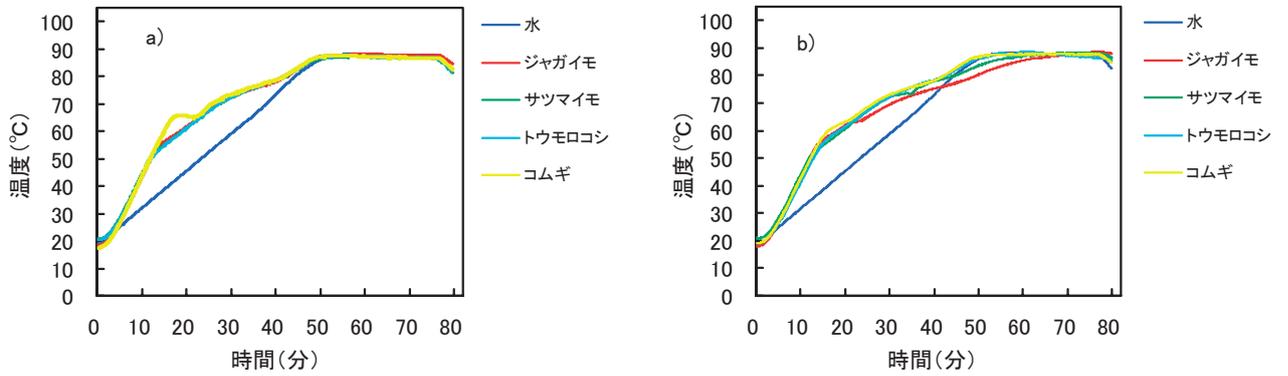


図 1 4. 各種デンプン懸濁液の温度上昇曲線（細線加熱式粘度計測温センサー）
a) 0.5% b) 5%