慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	バイオブリケットによる脱硫・脱硝技術とその反応機構
Sub Title	
Author	金, 熙濬(Kimu, Heijun) 定方, 正毅(Sadakata, Masayoshi)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	1998
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』 (KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-20
JaLC DOI	
Abstract	1 緒言近年、発展途上国の経済発展による工ネルギー需要の急激な増加や地球規模的な環境問題への関心などを背景に、化石工ネルギーの新たなる環境調和型利用技術の研究・技術開発が急務になっている。特に発展途上国においては、1次工ネルギー源として高灰分、高硫黄分の劣質炭に依存している国々が多い。また、この劣質炭は、産業用工ネルギー源のほか、炊事、暖房などの民生用燃料としても大量に利用されている(1)。このため、排出されるSOxによる酸性雨の他、喘息などの気管支障害の誘発など家庭での呼吸器疾患が問題になっている(2)。1990年の全世界におけるSOx排出量は、約6,700万トンにのぼり、アジア諸国がその3割を占めている。この多くは石炭燃焼によるものとされ、そのうち3割が火力発電所、残りは諸産業ならびに民生での石炭利用によるものである(3)。このような現状より、脱硫装置の設置が資金的に困難な中小規模ボイラや民生の燃焼器で利用するために石炭を環境調和型の固体燃料に改質する試みが北海道立工業試験場の研究グループと豊橋技術科学大学の我々を中心として行われてきた(1 ,4-10-15)。この改質固体燃料はバイオブリケットと呼ばれ、石炭にバイオマスを20～30%添加混合して圧縮成型した固形燃料である。このバイオブリケットの特徴を要約すると、長所としては、1)バイオマスを添加することにより総括的な燃焼性を向上させることができ、劣質炭の有効利用が可能となる。2)バイオマスは石炭とは異なり、現代の二酸化炭素自然循環サイクルによる燃料であり、化石燃料のように古代の炭素を二酸化炭素の形で放出するものではないため、大気中の二酸化炭素濃度の上昇を緩和及び化石燃料の使用量が削減できる。3)バイオブリケット成型時において、バイオマス自体がバインダーの役割を果たすため成型が容易となる。4)バイオブリケットの製造段階で脱硫・脱硝剤を添加混合することにより、自己脱硫・脱硝機能を付加することができる。5)燃焼炉の改良が不必要である。6)脱硫コストが安価である。7)灰の有効利用が可能である。短所としては、1)バインダー(糖蜜、澱粉等)を必要とする場合がある。2)圧縮成型のコストが高価である。などが挙げられる。このような特徴を有するバイオブリケットの成型特性、燃焼特性、環境汚染物質生成・消滅特性を明らかにすることで、発展途上国における劣質炭の有効利用、化石燃料の使用量削減、地球規模的な環境問題の緩和等を支援することは重要である。そこで、本研究では、劣質炭にバイオマスおよび脱硫・脱硝剤を添加して高圧成型した全く新しい環境調和型固体燃料である自己脱硫・脱硝機能付バイオブリケットの開発を行う目的で、その燃焼及び脱硫・脱硝特性の評価と脱硫・脱硝機構を明らかにした。脱硫及び脱硝剤としては一方従来広く使用されている石灰石と、水産廃棄物である貝殻及び産業廃棄物であるパルプ黒液をそれぞれ添加した。実験では、特にパルプ黒液のバインダー機能、脱硫・脱硝機構に着目し、バイオブリケットの成型性、燃焼特性、自己脱硫機能、自己脱硝機能について、成型圧力、燃焼温度、炭種、バイオマス種、脱硫剤種、脱硫剤の添加率、パルプ黒液の添加率などの各種パラメータを変化させて実験的に明らかにした。結果として、パルプ黒液及び貝殻を添加したバイオブリケットは優れた自己脱硫・脱硝能力を有していることを示した。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000020-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

バイオブリケットによる
脱硫・脱硝技術とその反応機構

金　　熙　濬
定　方　　正　毅

No.G-20

学振未来 WG３－３

バイオブリケットによる脱硫・脱硝技術とその反応機構

金　熙濬*、　定方　正毅**

1998年9月

1　緒　　言

近年、発展途上国の経済発展によるエネルギー需要の急激な増加や地球規模的な環境問題への関心などを背景に、化石エネルギーの新たなる環境調和型利用技術の研究・技術開発が急務になっている。特に発展途上国においては、1次エネルギー源として高灰分、高硫黄分の劣質炭に依存している国々が多い。また、この劣質炭は、産業用エネルギー源のほか、炊事、暖房などの民生用燃料としても大量に利用されている(1)。このため、排出されるSOxによる酸性雨の他、喘息などの気管支障害の誘発など家庭での呼吸器疾患が問題になっている(2)。1990年の全世界におけるSOx排出量は、約6,700万トンにのぼり、アジア諸国がその3割を占めている。この多くは石炭燃焼によるものとされ、そのうち3割が火力発電所、残りは諸産業ならびに民生での石炭利用によるものである(3)。

このような現状より、脱硫装置の設置が資金的に困難な中小規模ボイラや民生の燃焼器で利用するために石炭を環境調和型の固体燃料に改質する試みが北海道立工業試験場の研究グループと豊橋技術科学大学の我々を中心として行われてきた(1,4-10-15)。この改質固体燃料はバイオブリケットと呼ばれ、石炭にバイオマスを20～30%添加混合して圧縮成型した固形燃料である。このバイオブリケットの特徴を要約すると、長所としては、

1) バイオマスを添加することにより総括的な燃焼性を向上させることができ、劣質炭の有効利用が可能となる。

2) バイオマスは石炭とは異なり、現代の二酸化炭素自然循環サイクルによる燃料であり、化石燃料のように古代の炭素を二酸化炭素の形で放出するものではないため、大気中の二酸化炭素濃度の上昇を緩和及び化石燃料の使用量が削減できる。

3) バイオブリケット成型時において、バイオマス自体がバインダーの役割を果たすため成型が容易となる。

4) バイオブリケットの製造段階で脱硫・脱硝剤を添加混合することにより、自己脱硫・脱硝機能を付加することができる。

5) 燃焼炉の改良が不必要である。

6) 脱硫コストが安価である。

7) 灰の有効利用が可能である。

短所としては、

1) バインダー（糖蜜、澱粉等）を必要とする場合がある。

2) 圧縮成型のコストが高価である。

などが挙げられる。

このような特徴を有するバイオブリケットの成型特性、燃焼特性、環境汚染物質生成・消滅特性を明らかにすることで、発展途上国における劣質炭の有効利用、化石燃料の使用量削減、地球規模的な環境問題の緩和等を支援することは重要である。そこで、本研究では、劣質炭にバイオマスおよび脱硫・脱硝剤を添加して高圧成型した全く新しい環境調和型固体燃料である自己脱硫・脱硝機能付バイオブリケットの開発を行う目的で、その燃焼及び脱硫・脱硝特性の評価と脱硫・脱硝機構を明らかにした。脱硫及び脱硝剤としては一方従来広く使用されている石灰石と、水産廃棄物である貝殻及び産業廃棄物であるパルプ黒液をそれぞれ添加した。

実験では、特にパルプ黒液のバインダー機能、脱硫・脱硝機構に着目し、バイオブリケットの成型性、燃焼特性、自己脱硫機能、自己脱硝機能について、成型圧力、燃焼温度、炭種、バイオマス種、脱硫剤種、脱硫剤の添加率、パルプ黒液の添加率などの各種パラメータを変

*豊橋技術科学大学エコロジー工学系　Tel : 0532-44-6908　Fax 0532-44-6929
**東京大学工学部化学システム工学科　Tel : 03-3812-2111 内線 7344

化させて実験的に明らかにした。結果として、パルプ黒液及び貝殻を添加したバイオブリケットは優れた自己脱硫・脱硝能力を有していることを示した。

2　実験方法

2．1　石炭およびバイオマスの燃焼物性

表1に、本実験で用いたバイオブリケット原料の燃焼に関する物性値を示す。実験では、燃料比（可燃分中の固定炭素分と揮発分の含有率比）が3以上の中国産3炭種を用いた。一方、添加したバイオマスはトウモロコシの茎、バーク（樹皮）、バインダーはパルプ黒液である。バイオマス中の可燃分のほとんどは揮発分である。

表2に、添加した脱硫剤として津久見産石灰石とホタテ貝の貝殻の分析値を示す。脱硫剤としては、一般的に石灰石が用いられているが、水産廃棄物である貝殻も、石灰石と同様、Caを主成分とする。

2．2　実験装置、方法および条件

図1に、本研究で使用した電気加熱式バッチ燃焼炉の概略図を示す。本装置は、温度自動制御式電気炉、反応管ならびに各種計測部より構成されている。反応管下部には空気予熱用のアルミナボール（直径 20mm）の充填層（高さ約 450mm）が設けてある。電気炉と反応管は一体型となっており、垂直方向に上下移動可能である。燃焼過程中の試料の質量変化は、反応管上部に設置した電子天秤により、また、排ガス組成は各種ガス分析器によって連続計測した。排ガスの採集には水冷式サンプリングプローブを使用し、プローブから各種ガス分析装置までのサンプルラインは、水分凝縮を防止するために約 350K に電気加熱している。実験は、試料を電子天秤に吊し、その下方から所定の温度になった電気炉を上昇させて、反応を開始させ、燃焼開始直後からの質量変化およびガス濃度変化を計測した。表3に、実験条件およびバイオブリケットの製造条件を示す。試料の形状は円柱状とした。添加した脱硫剤は、粒子径を 297～420 μm に分級した津久見産石灰石およびホタテ貝である。

3　実験結果および考察

3．1　パルプ黒液のバインダー効果

バイオブリケットの強度を評価する因子の一つに密度がある。また、固体燃料の燃焼性はその空隙率によって左右されることから、本項では、その強度と空隙率を決定する成型圧が試料密度に与える影響について検討した。

図2に、パルプ黒液含有量 0～20%の成型圧の変化によるブリケットの密度を示す。縦軸は密度、横軸はブリケットの成型圧を示す。パルプ黒液を添加しない(0mass%)時には、成型圧力の増加とともに密度は 1200kg/m^3 から 1300kg/m^3 まで増加しているが、約 250MPa を越えると試料密度は 1300kg/m^3 を上限にほぼ一定になっている。しかし、パルプ黒液を 10mass%添加した場合には、成型圧力が 50MPa でも 1300kg/m^3 を越えている。さらに、パルプ黒液の添加量を 20mass%まで増加させると、密度は 1400kg/m^3 まで増加しており、成型圧力の変化に関係なく 1400kg/m^3 という高密度が全成型圧力範囲で一定に得られている。これらの結果から、パルプ黒液を添加することにより成型性が良好となり、低成型圧力（従来の 1/6）でも高密度の成型が可能であることを分かる。即ち、パルプ黒液を添加することにより、ブリケッティング動力の削減が可能である。

3．2　パルプ黒液添加による脱硫効果

パルプ黒液添加量を0～30mass%まで変化させたときのSO_2濃度の経時変化を図３に示す。縦軸はSO_2濃度、横軸は燃焼時間である。バイオブリケットの燃焼段階は初期の揮発分燃焼段階と固定炭素分燃焼段階とに分けられる。揮発分燃焼段階では、パルプ黒液の添加量を増加させることによってSO_2の生成も増加している。しかし、固定炭素分燃焼段階では、パルプ黒液を添加することによってSO_2の排出量は減少している。
パルプ黒液を添加することによる脱硫特性を、縦軸に脱硫率、横軸にパルプ黒液添加量をとり、図４に示す。パルプ黒液の添加量と共に脱硫率は一次的に増加しており、脱硫剤を添加しなくてもパルプ黒液を添加することにより、添加量30mass%で約35%の脱硫率が得られている。

３．３　パルプ黒液添加による脱硫反応メカニズム

パルプ黒液添加による脱硫反応がどのような機構で起きているかを検討するために、完全燃焼したバイオブリケットの灰のXRDパターンをとり成分分析を行った。その結果を図５に示す。灰のXRDパターンから、硫黄分はNa_2SO_4と$Na_2S_2O_4$という形で灰に残っていることを分かる。また、$NaNO_3$のピークも見られる。
これらの結果から、脱硫反応機構はNaOHとO_2とSO_2が反応してNa_2SO_4となる反応経路、
$2NaOH + 1/2\ O_2 + SO_2 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$　（Na_2SO_4融点1170K）
及びNaOHと$2SO_2$が反応して$Na_2S_2O_4$となる経路
$2NaOH + 2\ SO_2 \rightarrow Na_2S_2O_4 + H_2O + 1/2\ O_2$
の両者があるものと推測される。

３．４　農産廃棄物、パルプ黒液の添加による燃焼特性の変化

図６にパルプ黒液添加量の変化による燃焼率の変化を示す。縦軸は燃焼率、横軸は燃焼時間である。パルプ黒液の添加量を増加させることにより、燃え切り時間は早くなっている。即ち、バイオブリケットの燃焼特性が向上されていることを意味する。特に、図２で示したように、パルプ黒液の添加量が10%以上では密度が急激に高くなる（即ち、バイオブリケットの空隙率は減少するが成型性及び強度は増加する）にもかかわらず、燃焼性は向上している。成型初期の密度増加、即ち、空隙率減少にもかかわらず燃焼性が向上する原因は、パルプ黒液の添加量が増加することにつれ燃焼初期段階における揮発成分の放出・燃焼量が増加し、大量の空隙が生成されてチャー燃焼を促進するものと考察できる。図７にパルプ黒液及びトウモロコシの茎を添加して成型したバイオブリケットの燃焼特性を示す。縦軸は燃焼率、横軸は燃焼時間である。炉壁温度を1073Kに一定にした条件で、添加量としてパルプ黒液を20mass%のものと、パルプ黒液10mass%トウモロコシの茎10mass%のものと燃え切り時間を比較すると、パルプ黒液10mass%トウモロコシ茎10mass%を混合したものの方が燃え切り時間が速い。これはトウモロコシ茎の方がパルプ黒液より燃焼性が良いことを間接的示している。

３．５　パルプ黒液と脱硫剤を同時に添加した時の脱硫特性

パルプ黒液の添加量を10mass%、20mass%に一定にし、脱硫剤の添加量を変化させた時の脱硫率の変化を図８に示す。縦軸は脱硫率、横軸はCa/S比である。パルプ黒液添加量10mass%、20mass%両者とも脱硫剤の添加率を大きくすることにより、脱硫率は増加している。Ca/S比３以下では、パルプ黒液の添加率が高いほど高脱硫率が得られている。しかし、Ca/S比３以上では両者とも脱硫率は50%で飽和している。一方、脱硫剤として水酸化カルシウムを用いた場合はCa/S比１で脱硫率が60%まで達している（図９）。Ca/S比３以上になると脱硫率は80%に達しで飽和している。両図より、脱硫剤である水酸化カルシウムと津久見石灰石との脱硫効果を比較すると、水酸化カルシウムの方が分解温度が低いことから脱硫率は高くなっている。これは揮発成分放出・燃焼段階での脱硫率の差に起因している。なお、パルプ黒

液を 20mass%添加し Ca/S 比を変化させても CO、NOx の発生量は一定であった。

３．６　バイオブリケットの脱硝特性

3．6.1　脱硫剤による脱硝性

石炭及びバイオマスの熱分解による窒素放出の特性を図１０に示す。バイオマス及び石炭の窒素放出率は温度の増加と共に増加する。ただし、同一温度条件ではバイオマスの窒素放出率は石炭より高い。脱硫剤として石灰石と貝殻を添加したバイオブリケットについて、脱硫剤の添加量の変化による窒素酸化物の放出特性を調べたところ、脱硫剤の添加量を増加させても NO 発生量は変化しでない結果が得られた。この結果から石灰石及び貝殻は脱硝能力がないといえる。

３．６．２　パルプ黒液による脱硝

パルプ黒液は総 Fuel-N の約 40%が NH_3 であったので、脱硝剤としてバイオブリケットに添加し、脱硝率を測定した。その結果を図１１に示す。脱硝率は[1-$NO_{Pulp=n\%}$／$NO_{Pulp=0\%}$] 式を用いて計算した。本図より、パルプ黒液の添加量の増加に伴い脱硝率も増加していることが分かる。その添加量は 10mass%以上になると増加傾向は穏やかにはなるが、パルプ黒液を10%添加することにより脱硝率として 40%が得られている。

4　結言

以下に、これまでに本研究で得られた知見をまとめる。

(a) パルプ黒液はバインダーとして極めて有効に機能する。
(b) パルプ黒液の添加量を増加させることにより、脱硫率は一次的に増加する。
(c) 脱硫反応のメカニズムは次のようなものであると推測できる。

$$2\,NaOH + 1/2\,O_2 + SO_2 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$$

$$2\,NaOH + 2\,SO_2 \rightarrow Na_2S_2O_4 + H_2O + 1/2\,O_2$$

(d) パルプ黒液を添加することにより、燃焼性が向上する。
(e) パルプ黒液の添加量に関係なく Ca/S 比の増加に伴い脱硫率は増加する。
(f) バイオマスの添加量が増加するに従って Fuel-N からの NO への転換率は減少する。
(g) パルプ黒液の添加量を増加させることにより、バイオブリケットの脱硝率は増加する。

5　参考文献

(1) 上出光志・他 14 名 (1989) : 海外の低品位炭とバイオマスを原料とするバイオブリケット製造技術の開発, 平成 2 年度共同研究報告書, 北海道立工業試験場

(2) Chen B. H., et al. (1992): "Indoor Air Pollution and its Health Effects in China -a review", Environ. Technol., 13, 4, 301

(3) 定方ら(1993) : 文部省人間環境系重点領域研究, 1990/1992 年度研究成果報告書, 1

(4) Maruyama, T. and Mizoguchi, C. (1985): "Briquetting and Combustion Characteristics of Coal-Wood Composite Fuel", Proc. of the 4th Intl. Symp. on Agglomeration,

(5) Maruyama, T. and Takemichi, S. (1987): "Combustion Characteristics of Biocoal (Coal-Wood Briquettes)", 987

(6) Maruyama, T. (1987): "Coal Preparation and Combustion Technology for Suppression of Environmental Emissions in Domestic and Small-Size Combustors", Proc. of Intl. Symp. on the Control of Air Pollution Resulting from Combustion Processes

(7) Maruyama, T. and Mizoguchi, C. (1992): "Coal in Asia-Pacific", NEDO, 4, 3, 32

(8) 丸山・他 11 名(1988) : " パキスタン石炭を原料とするバイオブリケット製造の要素技術に関する研究" , 昭和 63 年度共同研究報告書, 北海道立工業試験場

(9) 上出・他 14 名(1988) : " 海外の低品位炭とバイオマスを原料とするバイオブリケット製造技術の開発" , 平成元年度共同研究報告書, 北海道立工業試験場

(10) 丸山 (1995) : " バイオブリケットと国際技術協力" , 日本エネルギー学会誌, 74, 204

(11) Kim H.J., S. Hasimoto, S. Ona, K. Matsui and M. Sadakata (1997); "Desulfurization by Coal Briquette Combustion and it`s Effect on Environment", J. Jpn. Energy, 76, 205-213

(12) Kim H.J., G.Q. Lu, H. Maruchi, I. Naruse, K. Ohtake and Sadakata M. (1997);"The study of a biocoalbriquette having self-desulfurization and self-denitrofication" Proc. of 39th autumn meeting of SCEJ, H205

(13) Lu, G-Q., T. Toyama, H.J. Kim, I. Naruse, and K. Ohtake (1995) "Fundamental Study on Combustion and Desulfurization Characteristics of Bio coal", Proc. of the 3rd Intl. Symp. on Coal Combust., 37-44

(14) Lu, G-Q., T. Toyama, H.J. Kim, I. Naruse, K. Ohtake and M. Kamide (1997); "Fundamental Study on Combustion Characteristics of Biobriquette", Kagaku Kogaku Ronbunshu, 23, 404-412

(15) Lu, G-Q., H.J. Kim, I. Naruse, K. Ohtake and M. Kamide (1997); "Influence of Coal Type and Briquetting Conditions on Combustion Rate of Biobriquette", Kagaku Kogaku Ronbunshu, 23, 954-961

表１　バイオブリケット原料の物性

Sample		Proximate analysis [mass%,dry basis]			Fuel ratio [-]	Ultimate analysis [mass%, d.a.f.]			Sulfur [mass%, d.a.f.]		Calorific value [kJ/kg]	
		Ash	VM	FC		C	H	N	Total	Combustible	Q_H	Q_L
Coal	SB	2.7	53.6	43.7	0.82	71.8	5.2	1.6	1.9	1.3	25400	24200
	MI	13.7	41.6	44.7	1.08	77.4	5.5	1.3	3.2	2.6	-	-
	DT	16.6	38.2	45.2	1.18	82.2	5.5	1.9	1.1	0.5	-	-
	NL	17.2	36.6	46.2	1.26	79.2	4.9	1.7	0.8	0.3	-	-
	BR	17.6	32.7	49.2	1.48	81.9	5.1	1.8	1.1	0.4	25700	24700
	BJ	20.5	19.6	59.9	3.05	83.9	4.2	1.0	2.2	1.6	26700	26000
	SV	16.7	19.4	63.9	3.30	90.2	4.9	1.0	0.3	0.3	28300	27400
	SZ	5.6	21.5	72.9	3.37	85.4	4.1	0.9	2.7	2.1	33500	32700
	XM	4.9	21.6	73.5	3.41	85.2	3.9	1.0	2.2	1.7	31300	30400
	DS	15.3	16.1	68.6	4.27	84.8	4.2	1.1	2.9	2.1	27500	26700
Biomass	Bark	2.6	90.6	1.5	0.02	42.5	5.5	0.5	0.0	0.0	18200	17000
	Rice straw	18.6	77.2	4.2	0.05	49.5	6.7	1.5	0.1	0.1	15100	13800
	Cornstalk	2.1	88.7	9.2	0.10	40.0	5.2	2.1	0.2	0.2	16700	15800
Denitrificater	Pulp liquid	1.2	70.6	28.2	0.4	32	3.4	0.14	1.5	1.5	-	-

表２　脱硫剤の物性

	Moist.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	SO_3	lg. loss
Tsukumi limestone	0.1	0.16	0.042	0.027	0.52	55.44	0.0043	45.53
Scallop shell	0.4	0.03	0.024	0.012	0.22	53.07	0.53	45.44

	Insoluble(in HCl)	Cl	SO_4	Na	K	Mg	Pb	Cr	$Ca(OH)_2$	Mn	Fe	As
$Ca(OH)_2$	0.1	0.01	0.05	0.05	0.05	1	0.003	0.005	96.0	0.001	0.02	0.0000005

表３　実験条件

Furnace temperature [K]		873, 973, 1073, 1173
Biomass content [mass%]		0, 20, 40, 60, 100
Copmression pressure [MPa]		245.2
Particle diameter [m]	Coal	less than 1×10^{-3}
	Biomass	less than 1×10^{-3}
	Desulfurizer	297 - 420 μ m
Denitrificater		pulp black liquid
Denitrificater content [mass %]		0.0, 9.1, 16.7, 23.1

Biobriquette Shape: Cylindrical Shape, Diameter: 16mm

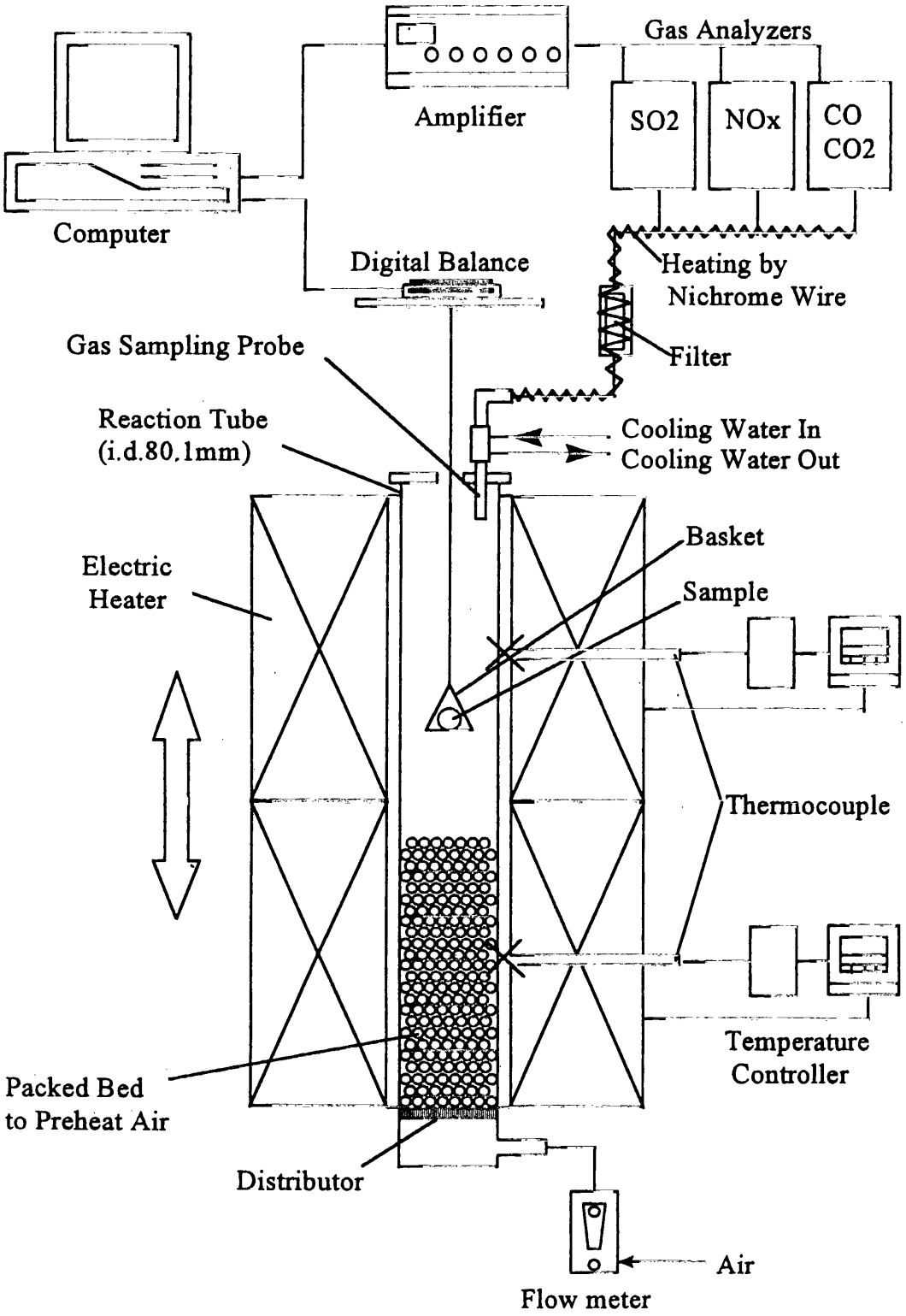

Gas Analyzers
Amplifier
SO2
NOx
CO
CO2
Computer
Digital Balance
Heating by
Nichrome Wire
Filter
Gas Sampling Probe
Reaction Tube
(i.d.80.1mm)
Cooling Water In
Cooling Water Out
Basket
Electric
Heater
Sample
Thermocouple
Temperature
Controller
Packed Bed
to Preheat Air
Distributor
Air
Flow meter

図１　実験装置の概略図

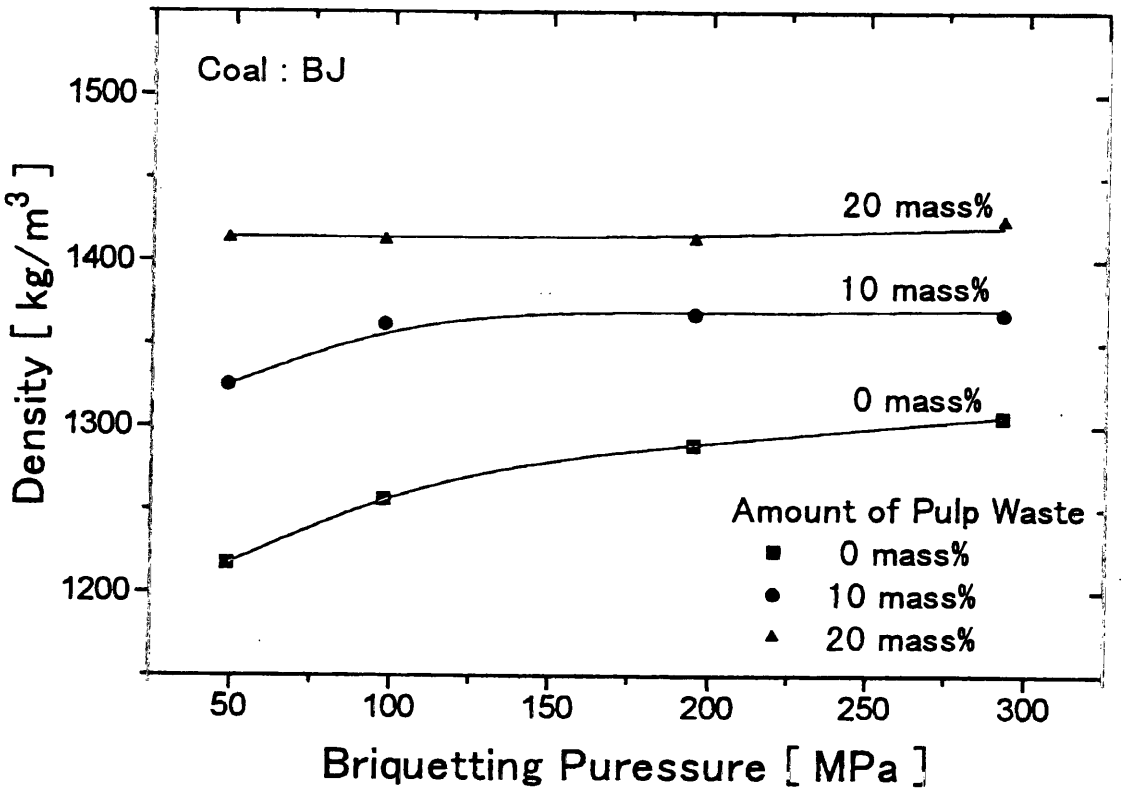


図２　パルプ黒液添加量に対する成型圧力増加とブリケットの密度との関係

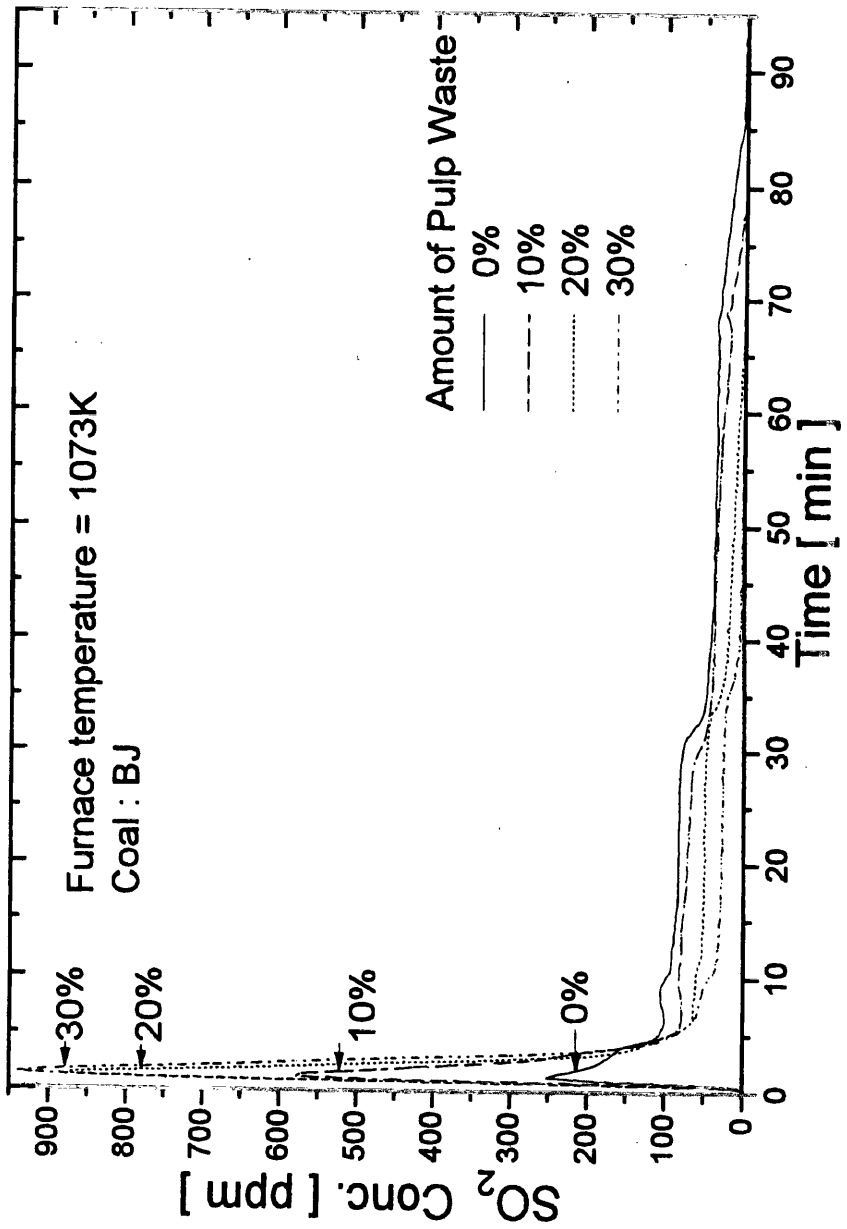


図３　パルプ黒液添加時の SO_2 濃度の経時変化

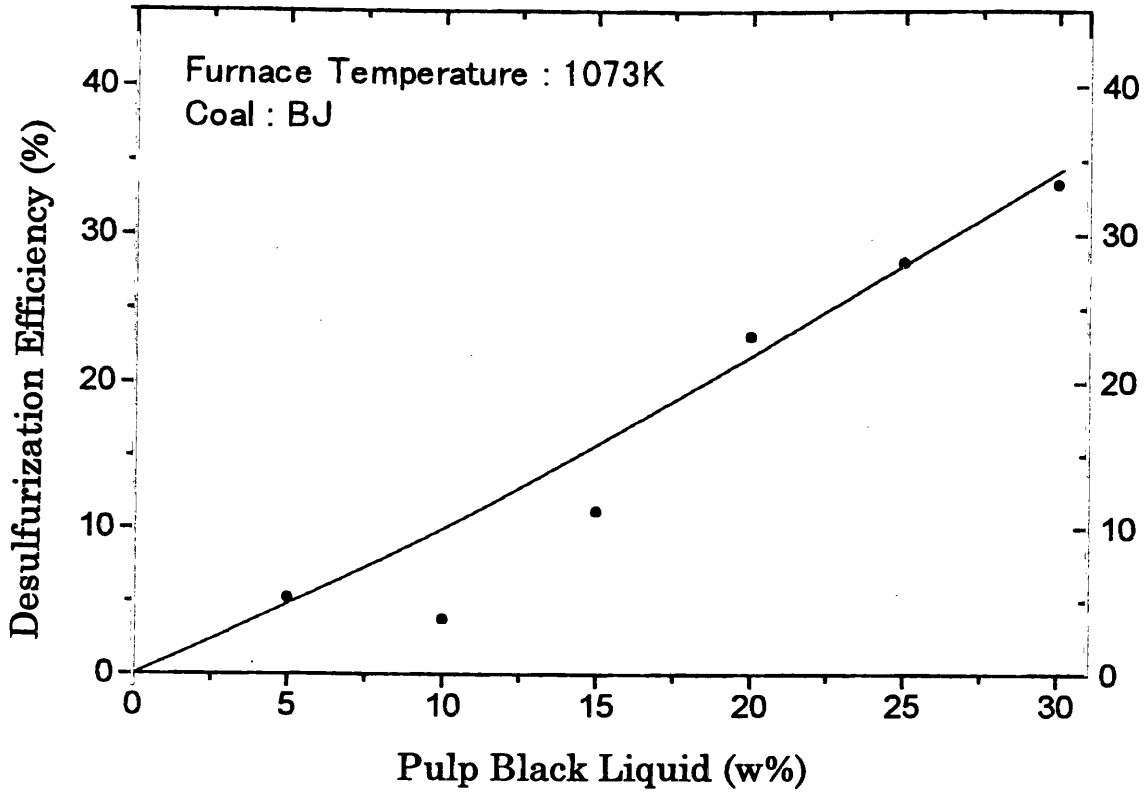


図４　パルプ黒液添加による脱硫率の変化

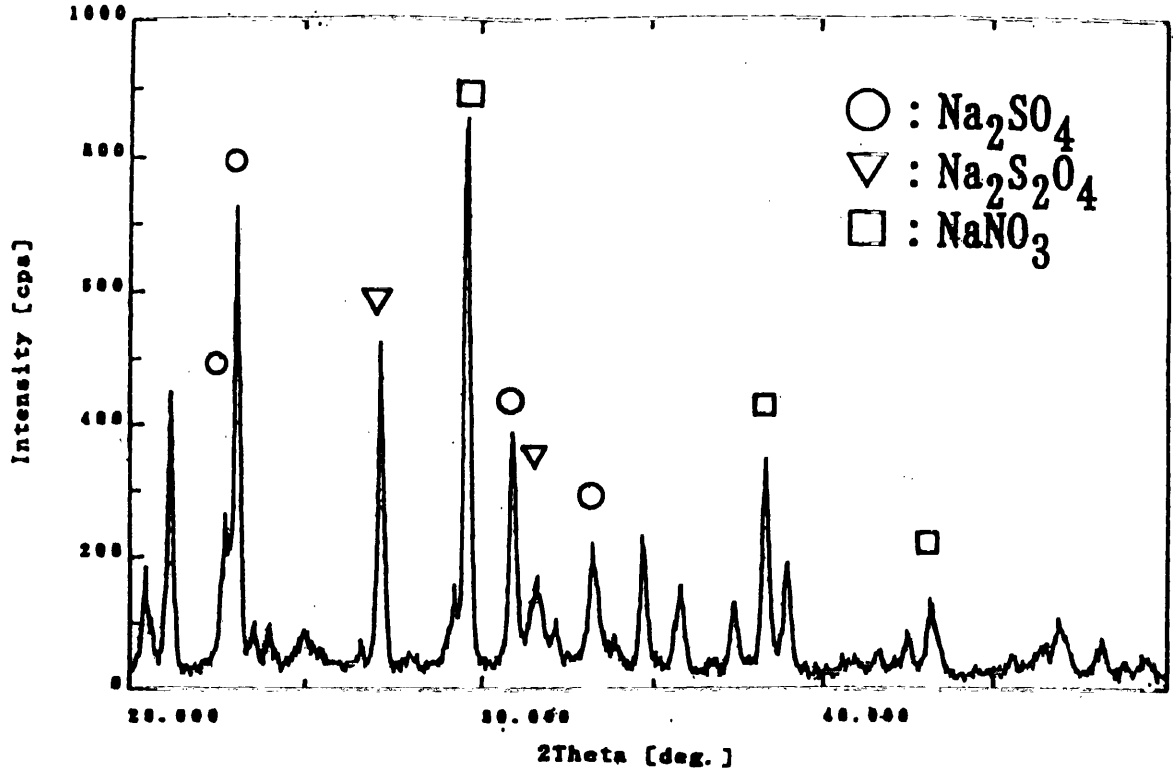


図５　バイオブリケットの灰の XRD パターン

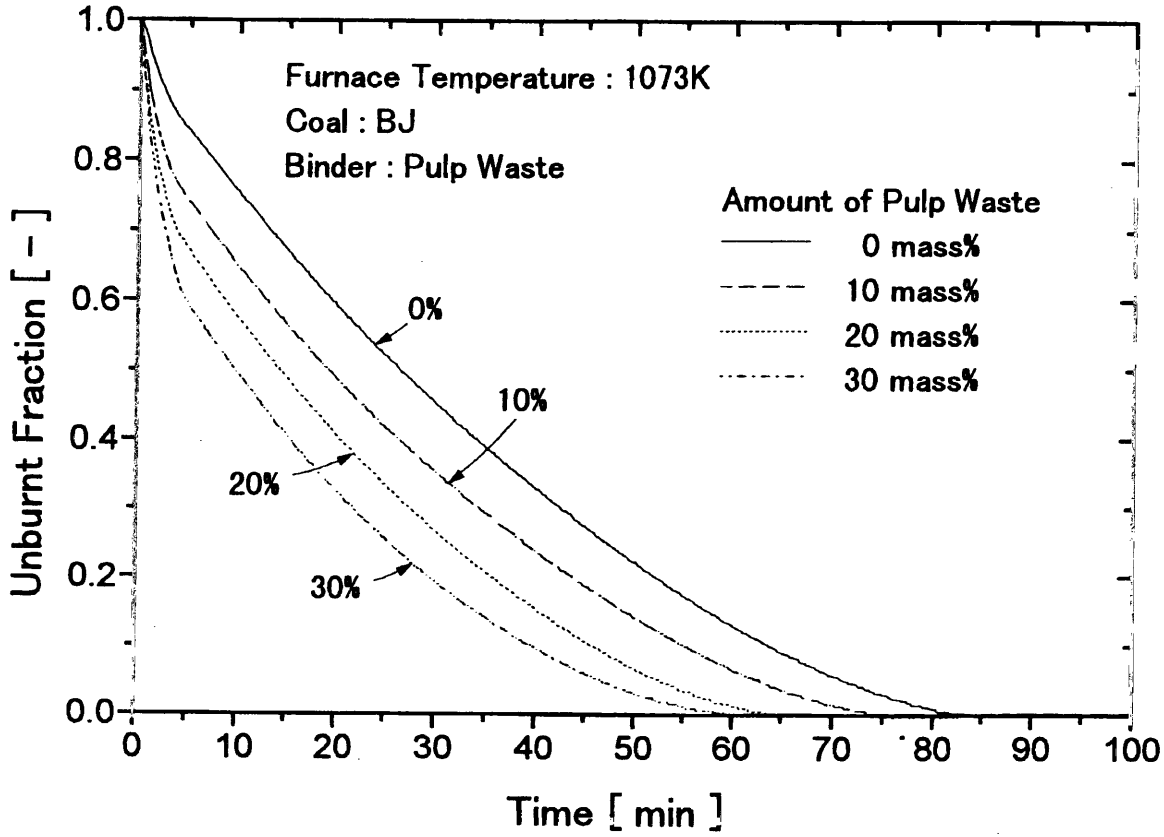


図６　パルプ黒液添加による燃焼率の変化

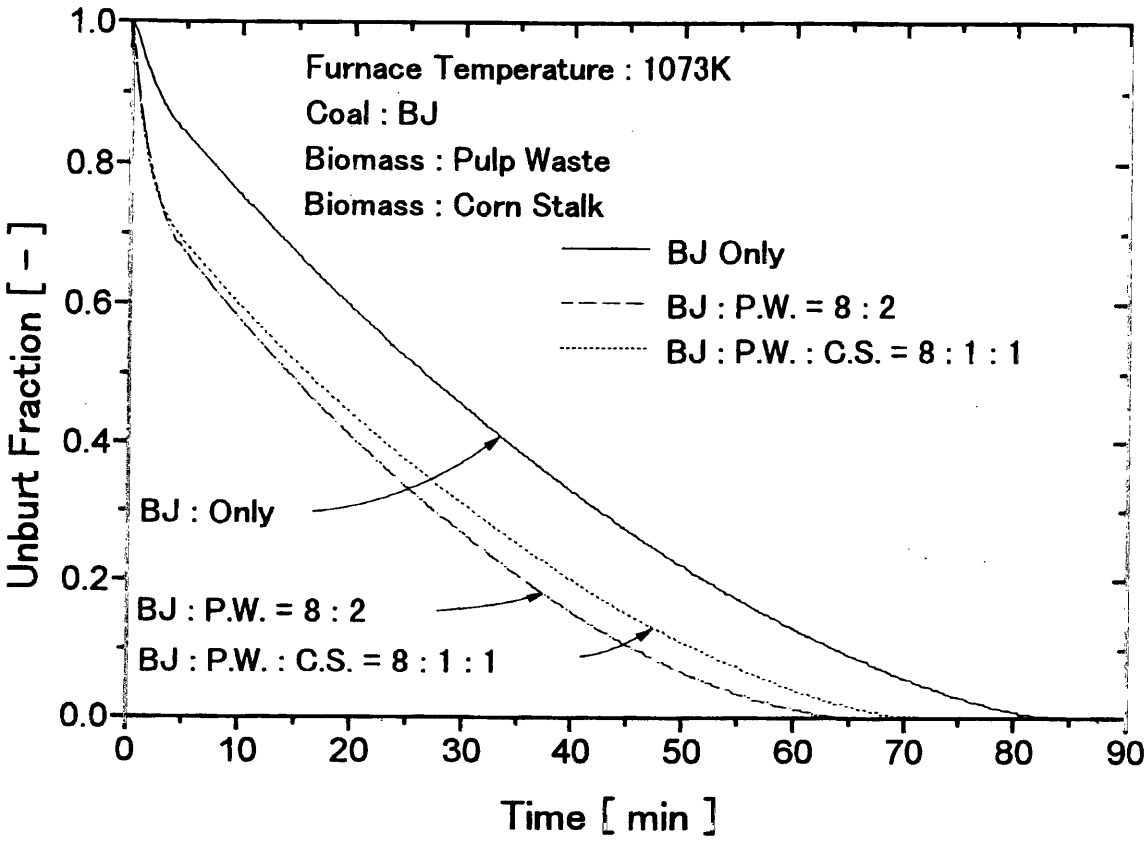


図７　バイオマスとパルプ黒液の燃焼特性の比較

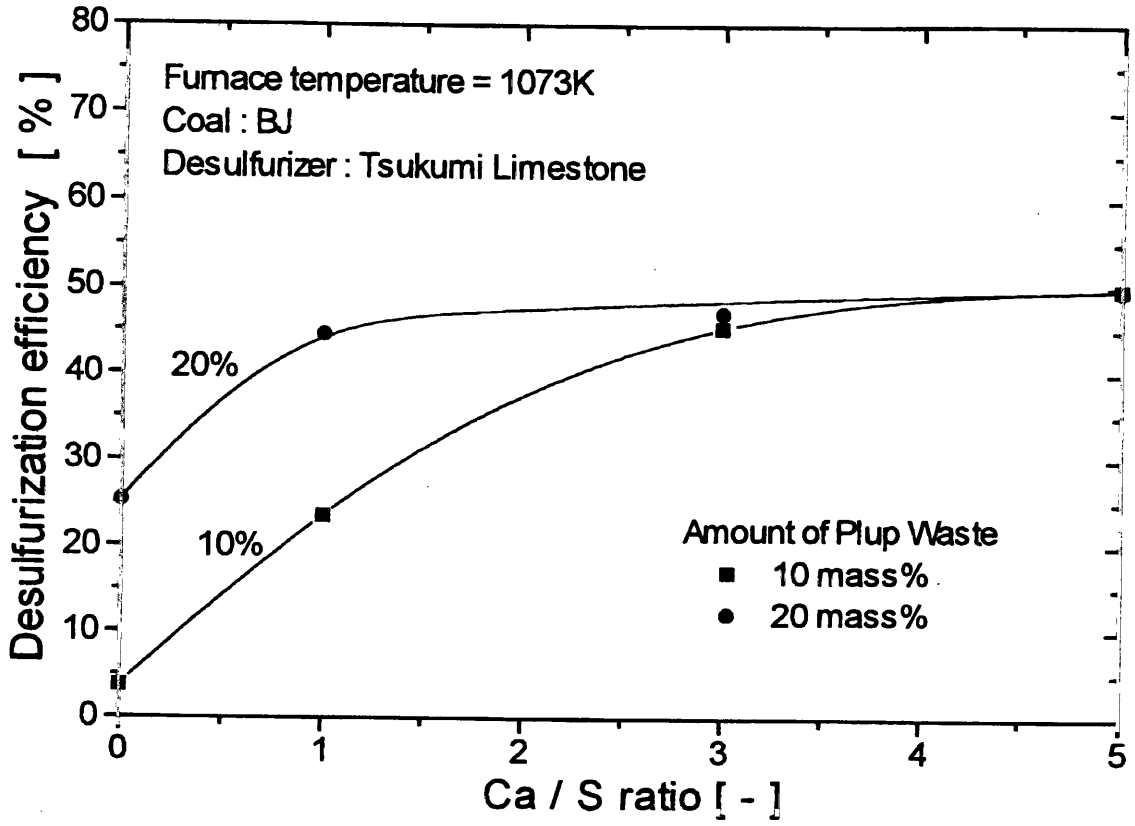


図８　脱硫剤の添加量の増加による脱硫率の変化

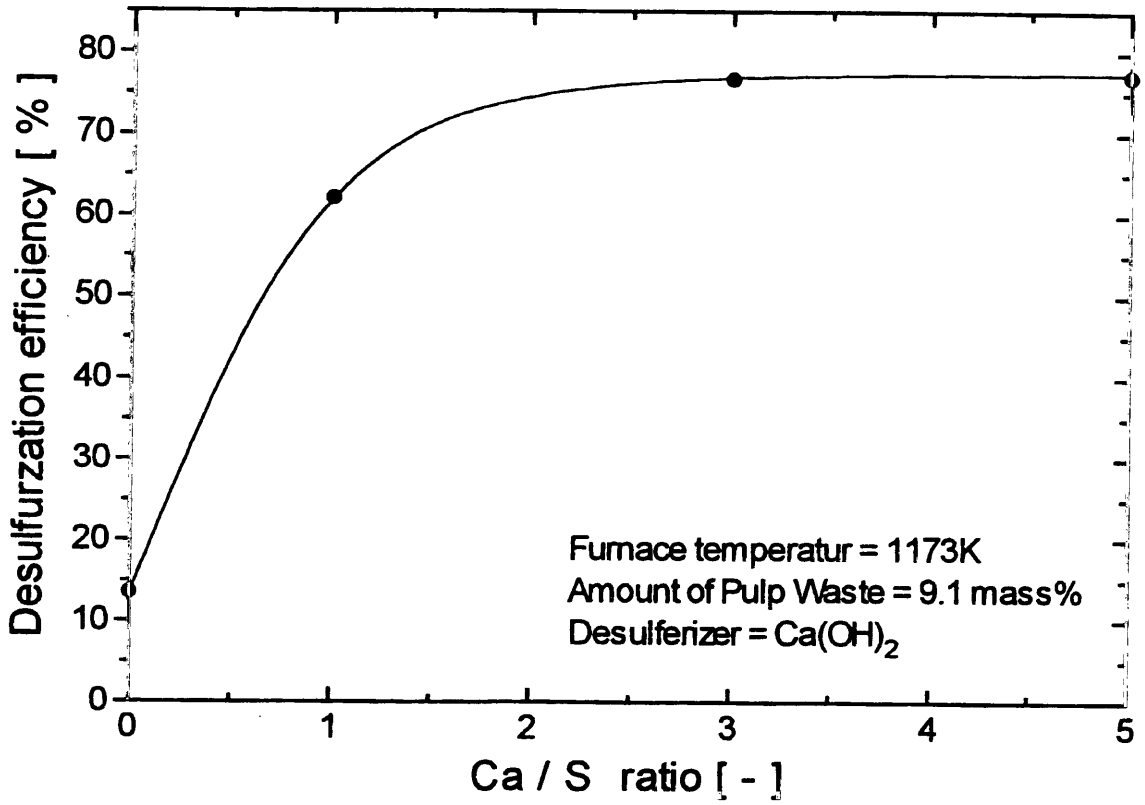


図９　脱硫剤として水酸化カルシウムの添加と脱硫率

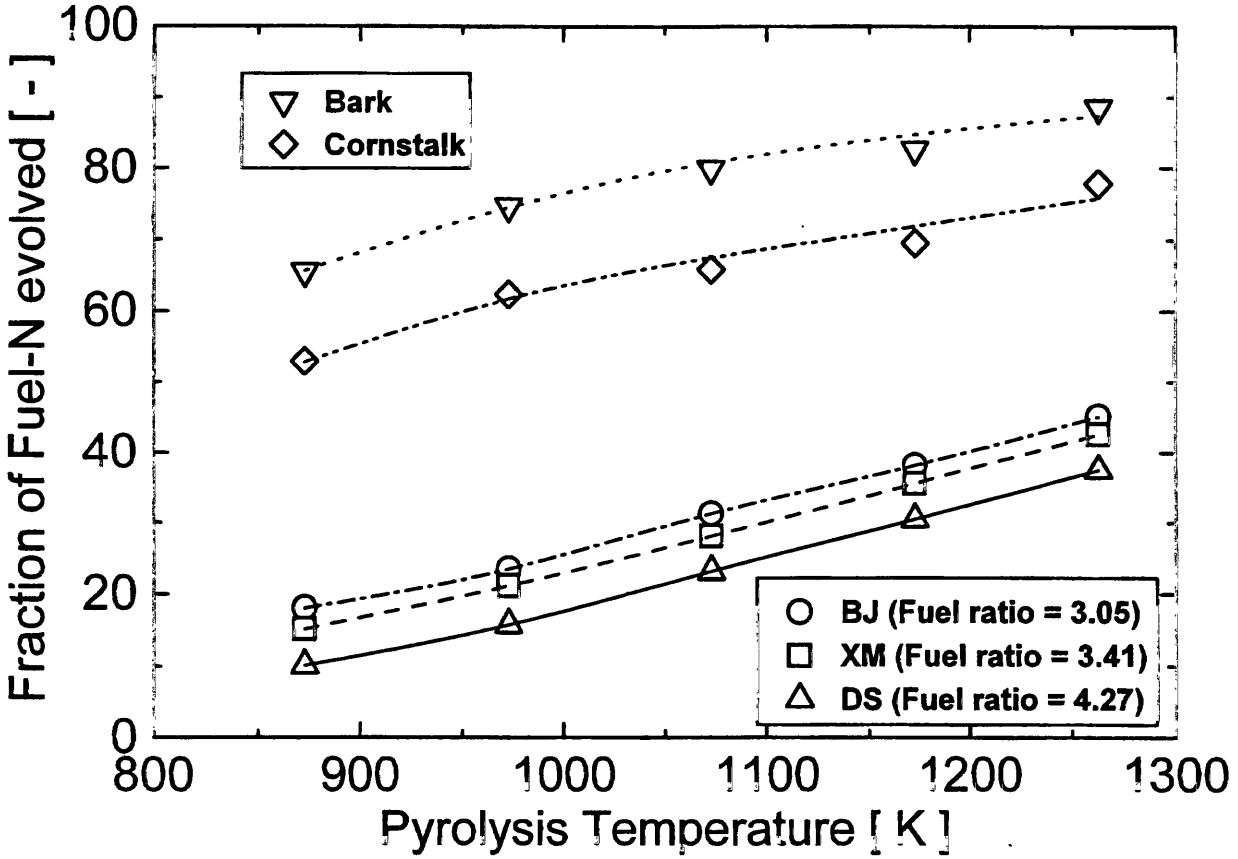


図 10　熱分解による窒素放出の特性

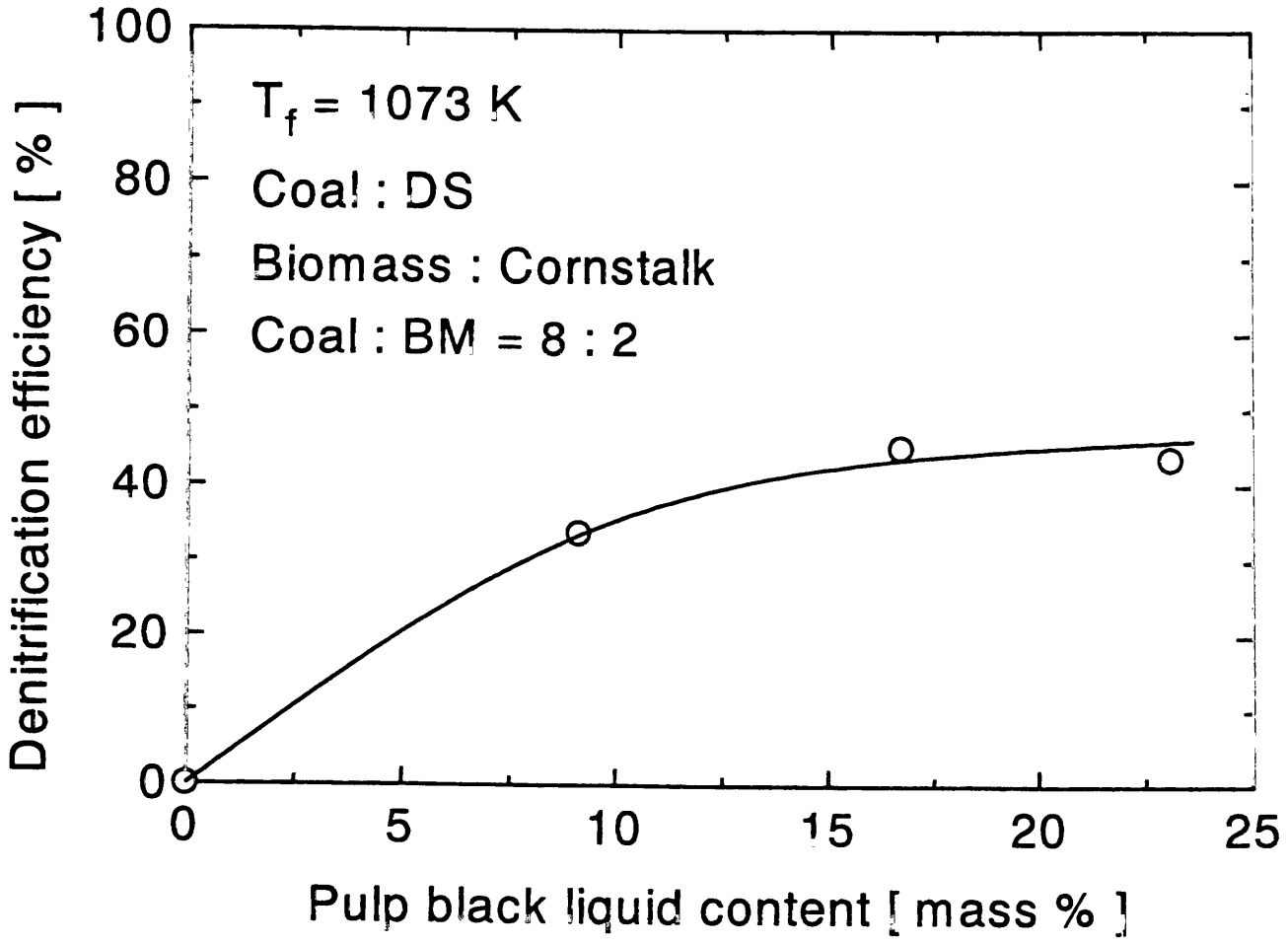


図 11　パルプ黒液添加量と脱硝率