

アスファルトプラントのCO₂削減技術

蓬 葉 秀 人

アスファルトプラントは建設機械のなかで最も多くの化石燃料を消費し、尚且つ、最も多くのCO₂を排出している。国内のアスファルト合材生産量が約5,000万トン/年であることからCO₂排出量は132万トン/年にのぼるものと推定される。アスファルトプラントは過去2回にわたるオイルショックを経験する度に、その熱効率が見直され、今ではその改善余地が限界に近づきつつある。本研究では、低炭素社会ならびに循環型社会の構築を目指し、温室効果ガスであるCO₂の排出量をさらに抑制するべく新たに開発したドライヤ回転数による排ガス温度制御技術と燃焼排ガス中の残存酸素を再利用して化石燃料を燃焼させるEGR燃焼技術を報告する。

キーワード：アスファルトプラント，CO₂，化石燃料，温室効果ガス，EGR，燃焼，熱交換，省エネルギー

1. はじめに

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) では、多くの観測事実とシミュレーション結果に基づき人間による化石燃料の使用が地球温暖化の主因と考えられ自然要因だけでは説明がつかないことを指摘している¹⁾²⁾。大気中のCO₂濃度は、1750年ごろから始まった産業革命を境にして280 ppmから今現在の385 ppmまで急激に増加している。全世界のCO₂排出量は271億トンと推定され、日本の排出量は13億4,000万トンで、アメリカ、中国、EU諸国、ロシアに続き5番目に多い。今後、新興国の経済発展に伴うCO₂排出量の増加を想定すると2050年には大気中のCO₂濃度が現在の2倍である800 ppmを超えるとの予測があり、この時の地球平均気温は現在に比べ2~3℃上昇する。このような地球温暖化により、異常気象や生態系が影響を受け、水や食料問題に発展する可能性が非常に高くなるとIPCCでは警鐘を鳴らしている³⁾。

アスファルトプラント (以下APと言う) は建設機械のなかで最も多くの化石燃料を消費し、尚且つ、最も多くのCO₂を排出している。国内における平成21年度のアスファルト合材生産量が約5,000万トン⁴⁾であったことから、アスファルト合材の原単位を27.7 kg-CO₂/トンとすると、年間132万トンのCO₂を排出しているものと推定される。

日本は過去2回に渡るオイルショックを経験し、産

業界ではその都度エネルギー効率を高めて生産性を改善してきた。このような産業界における省エネ努力により、日本の単位GDP当たりのエネルギー消費量は世界で最も少ない。言い換えれば、日本は最も効率良くエネルギーを消費して生産活動を行っている省エネルギー率No.1の国家である⁵⁾。APに関しても他産業同様、過去2回に渡る省エネルギー化の激しい波が押し寄せ時代の要求に応えるべく省エネ技術を新たに開発し導入してきた。このため、最新のAPの熱効率は80~85%を達成しており、もはや改善代が15%以下となり限界に近づきつつある。また、APは省エネルギー化の波だけではなく、公害防止法の適応を受け、騒音、振動、ばい煙、臭気などの規制をクリアしながらも環境負荷に配慮したシステムとして進化を続けている。

ここに来て、以前はクリーンで無害とされていたCO₂に関しても温室効果ガスとしての一般認識が深まり、今や誰とて疑う余地のない地球温暖化の原因物質として認知されている。本研究では、低炭素社会ならびに循環型社会の構築を目指し、さらなる省エネルギー化を推進するべくAPにおける乾燥加熱プロセスを根底から見直し、排ガス温度を極限まで下げて排熱を回収することができるドライヤ回転数制御による排ガス温度コントロール技術と、排ガス中の残存酸素をバーナ燃焼に再利用して排ガスを極限にまで削減させるEGR燃焼技術を報告する。

2. アスファルトプラントの概要

道路舗装資材であるアスファルト合材は、質量割合で90%の骨材、5%のフィラー（石粉：炭酸カルシウム）、5%のアスファルト（原油の残渣）で構成されている。骨材は、アスファルト合材の骨格を成す材料で、細砂、粗砂、7号碎石、6号碎石、5号碎石などがある。フィラーは、アスファルトの見かけ粘度を高め、骨材の間隙を充填して強度を改善するなどの働きがある。アスファルトは、これら骨材とフィラーとをコーティングして接着させるバインダーとしての役割を担っている。代表的なAPの全景を写真-1と写真-2に、全体フローを図-1に示す。図より、APには、骨材を乾燥加熱するバージンドライヤ（以下Vドライヤと言う）と、舗装発生材（リサイクル材：以下R材と言う）を乾燥加熱するリサイクルドライヤ（以下Rドライヤと言う）がある。以下、骨材の流れに沿ってフローを説明する。骨材は、供給フィーダで各アスファルト合材の配合に応じて定量供給され、引き出しベルコン、投入ベルコンを経てVドライヤに供給される。Vドライヤは、回転自在な円筒形で骨材の流れ方向に対して4°傾斜している。内部には、骨材を持ち上げて分散させるためのリフターが取り付けられており、Vドライヤの回転に伴い骨材が持ち上げられ分散落下しながら出口方向に進んで行く。Vドライヤの出口近傍には加熱バーナが設置されており、骨材の乾燥加熱に必要な熱エネルギーを、燃料を燃焼させることにより供給している。このようにしてVドライヤは骨材の乾燥と加熱を担っている。

つぎに、Vドライヤで170℃前後に加熱された骨材は、ホットエレベーターを経て本体タワーのスクリーン



写真-1 アスファルトプラント全景 (その1)



写真-2 アスファルトプラント全景 (その2)

に供給される。骨材はスクリーンにより各粒度に篩い分けられ、ホットビンに一旦貯蔵される。ホットビンの下部には計量器があり、各粒度の骨材を配合設計に応じて計量し、バッチ式の二軸パグミルミキサに投入する。二軸パグミルミキサでは、フィラーとアスファルトを添加して混練し、アスファルト合材を製造する。160℃で製造されたアスファルト合材はミキサからダンプトラックに積載されて舗装現場に輸送される。

一方、循環型社会の構築を推進する観点から、一度道路舗装材として一定期間の使用に供した道路舗装

アスファルト合材工場フロー図

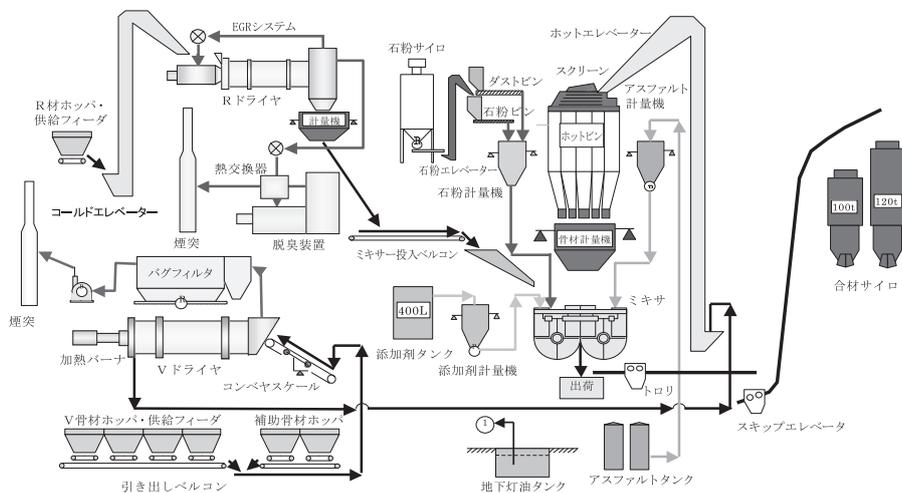


図-1 代表的なアスファルトプラントのフロー

発生材（アスファルトコンクリートガラ：以下アスコンガラと言う）を破碎分級したりサイクル材（以下R材と言う）を再度Rドライヤで加熱して流動性を回復させ、一定割合を新規骨材と一緒に二軸パグミルミキサで混合したものがリサイクル合材（以下R合材と言う）である。RドライヤではR材を160℃前後まで乾燥加熱することからアスファルトの揮発成分が気化蒸発し、臭いの問題に発展する場合がある。最近では、これら臭い成分を脱臭すべく直接燃焼方式の脱臭装置が普及している。

また、二軸パグミルミキサから練り落とされたアスファルト合材はその特性から1時間程度で道路舗装現場に輸送して打設、転圧する必要がある。合材サイロはアスファルト合材を熱い状態で一時貯蔵することが可能であることから、APの生産効率改善に一役を担っている。

3. アスファルトプラントのCO₂排出量削減技術

(1) ドライヤ回転数制御

① ドライヤ回転数制御を必要とする課題

省エネルギー化と循環型社会の構築および市場原理とが上手く噛み合って普及して行ったのがアスコンガラのリサイクルである。舗装発生材であるアスコンガラをR材としてアスファルト合材に混入し、混入率を増加させるほど省エネルギー化の推進と利益が生まれる仕組みになっている。この仕組みにより、今ではアスコンガラのリサイクル率が98%を超えている⁶⁾。また、この仕組みが全国的に波及することにより、リサイクル化がAPの設備として必須となり、APの運用形態を大きく変えて行った。具体的には、Vドライヤの運用形態が従来の定格運転から少量負荷運転へと変わった。本体タワーのミキサ容量の仕様の制約を受け、R材の混入率を増加させるためにはV骨材を減じる必要がある。したがって、Vドライヤの骨材供給量を定格の50～30%まで下げるような運用が求められるようになった。

このとき課題となるのがバーナのターンダウンレシオ（Turn Down Ratio：以下TDRと言う）である。TDRはバーナの燃焼範囲を示す指標で最大燃焼量と最低燃焼量の比を意味する。APのバーナは、骨材の含水比や加熱温度の変化に対応すべく燃焼量を連続的に増減させることが可能な比例制御バーナを搭載している。定格能力の運用であれば骨材の含水比の変動や加熱温度の調整のために必要なバーナのTDRは1:

3で十分である。しかしながら、骨材供給量が半減した場合のTDRは1:5以上が必要とされる。TDRの小さいバーナでは燃焼量を絞り切れず骨材温度を制御できなくなる。この課題に対応すべく燃焼範囲の広いTDR 1:5以上のバーナを新たに開発しすでに市場投入している。ただ、熱の受け皿側であるドライヤに関しては、つぎに述べるような許容範囲を超える運用が余儀なくされていたのである。

2番目の課題としては、骨材供給量が半減した場合ドライヤの排ガス温度が下がり過ぎて色々な弊害をもたらすことである。ドライヤは、その円筒型の内部に骨材を持ち上げて分散させるためのリフターを備えている。このリフターにより骨材は分散し、バーナ燃焼により発生した熱風と接触して熱交換を行う。この骨材が分散するためのドライヤ容積が大きいほどその熱交換能力が高まる。したがって、ドライヤ容積は最大乾燥能力に応じて決定されるが、R材の高混入率化によりV骨材の供給量が少なくなった場合、ドライヤ容積が熱負荷に比べて過剰となる。このことから骨材への熱伝達が良くなり過ぎて排ガス温度が下がってしまう。この分ドライヤ効率としては良くなるのであるが、その反面、排ガス温度が下がることによる弊害が生じてくる。

1つめの弊害としては、ドライヤの排ガス中に骨材を乾燥させることにより発生する水蒸気が容積比で20～25%含まれているが、排ガス温度の低下に伴いこれら水蒸気が凝縮し集塵機の回収ダストを湿らせて詰まりを生じさせる。

2つめの弊害としては、燃料に含まれる硫黄成分が燃焼に伴い硫酸酸化物となり、凝縮水に溶け込んで硫酸を生成する。これにより、煙道や集塵機などの鋼板を早期に腐食させる低温腐食を招く。これらの弊害を回避するためにドライヤのリフターの一部を抜き取って熱交換能力を下げ排ガス温度が極端に下がらないように調整している。逆に、熱負荷が上昇する定格運転ならびに高含水比運転においては、ドライヤの熱交換能力が不足し、バーナ燃焼量が増加することにより発生する熱エネルギーをドライヤで吸収しきれずに排ガス温度が上昇してしまう。このように、従来の技術ではドライヤの熱負荷が大きく変化することにより、排ガス温度も大きく変動し燃費の悪化を招くことになっていた。

本課題の解決策として、熱負荷に応じてドライヤ内部での熱交換面積を増減させて排ガス温度を一定にコントロールする仕組みが必要となり、つぎに述べるドライヤ回転数制御システムを新たに開発した。

②改善技術（ドライヤ回転数制御）

負荷変動の大きいVドライヤの熱効率を改善するためには、排ガス温度低減による熱効率改善効果と温度低減による弊害との最適バランスをはかることが重要である。このためには、排ガス温度を自在にコントロールし、最適温度に管理する技術が必要となる。ドライヤ出口の骨材温度はバーナ燃焼量を可変することで一定温度にコントロールされていることから、ドライヤ排ガス温度のコントロールはドライヤの熱交換能力を連続的に可変する必要がある。従来のようなリフターの脱着では連続的に排ガス温度を管理することができない。そこで、今回新たに開発した技術は、ドライヤの回転数を連続的に可変することにより、リフターで分散される骨材量が変化し、熱交換能力を増減させることを可能とした。写真—3に今回新たに開発したドライヤの全景を写真—4にドライヤ内部のリフター配列を示す。

ドライヤの熱効率に関して、単位ドライヤ容積中に可能な限り多くの骨材を分散させることが熱効率改善につながる。骨材への熱エネルギー供給は、バーナ燃焼ガスとの接触伝熱で賄われる。したがって、バーナ燃焼ガスと骨材との接触面積をドライヤの回転数に比例させて増減させることでドライヤ排ガス温度を自在に制御することが可能となるのである。また、写真—4に示す特殊なリフターを考案することにより、ドラ

イヤ回転数と骨材による熱交換面積が常に正の相関関係が担保されるように工夫した。これにより、ドライヤの回転数による排ガス温度の制御が行い易くなった。また、運用上の工夫として、骨材供給の始めと終わりの非定常な状態においては、ドライヤ内部の骨材流れ速度を従来の速度にあわせることでシステムとしての全体バランスを良くした。さらに、運転終了後やアイドリング中に省電力化をはかるために回転数を下げることが可能となった。つぎに、骨材で残留水分が多いものへの対応として、ドライヤ回転数を下げることにより排ガス温度が上昇してドライヤ入口部からの熱交換が改善され、尚且つ、ドライヤ内部での滞留時間が長くなり水分が抜け易くなる。これにより特殊なアスファルト合材の対応が可能となった。

(2) EGR 燃焼技術

① EGR 燃焼技術を必要とする課題

化石燃料の燃焼に伴い生成する窒素酸化物には、燃料に含まれる窒素成分から生成する Fuel NO_x と空気中の酸素と窒素とがバーナ火炎の高温部で反応して生成する Thermal NO_x とが知られている。なかでも、Thermal NO_x は、バーナ火炎が高温であるほど生成量が増加することが知られており、色々な NO_x 低減技術が確立されている。NO_x 低減技術の中で最も有効な方法として EGR (Exhaust Gas Recirculation : 燃焼ガス再循環) がある。本来、EGR は、燃焼に伴って発生する窒素酸化物の抑制技術として一般的に普及しており、酸素濃度の低い燃焼排ガスを再循環させて燃焼空気の一部混入させて燃焼させる。このことにより燃焼火炎の局部高温部の温度が低下し、Thermal NO_x の低減に寄与することが可能となる。空気は体積割合で約 79% の窒素 (N₂) と約 21% の酸素 (O₂) とで構成されている。またこのときの Thermal NO_x 生成量はその反応物の濃度と温度とに支配される。したがって、燃焼空気の酸素濃度を下げることにより、酸化反応が緩慢となり温度の上昇も抑えられることから相乗的に Thermal NO_x の生成量が減少するのである。

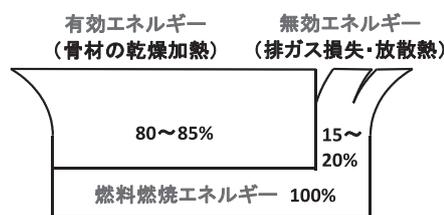
一方、AP のさらなる省エネルギー化の課題としては、AP の熱効率が図—2 に示すとおり、すでに 80



写真—3 回転数制御ドライヤ全景



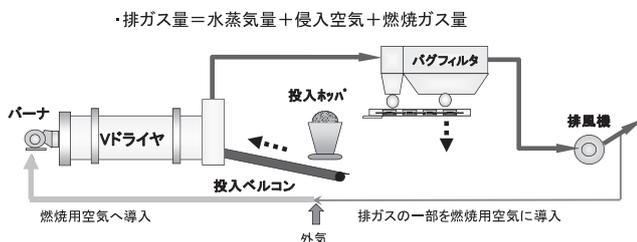
写真—4 回転数制御ドライヤ内部



図—2 AP のヒートバランス

～85%の限界に近づきつつあることである。言い換えれば15～20%の無効エネルギーが放散熱や排気ガスとして捨てられており、さらに、省エネルギー化をはかるためには、この無効エネルギーをいかにして削減することができるかが大きな課題である。無効エネルギーのなかでも、排ガスとして捨てるエネルギーが大半をしめることから、熱効率を改善するためには、排ガスとして捨てるエネルギーを少なくする必要がある。排ガスの熱エネルギーは排ガス温度と排ガス量との積で求められることから、それぞれの値を小さくする必要がある。排ガス温度に関しては、本研究のドライヤ回転数制御により最適な排ガス温度に管理することが可能となった。排ガス量に関しては、低空気比バーナなどの採用が有効であるが、すでに普及に至っており、これ以上の改善は限界に近い。

本課題の解決策として、つぎに述べるEGR燃焼システムを新たに開発した。図—3にEGR燃焼システムのフロー図を示す。この技術は、燃焼排ガスの一部をバーナの一次燃焼空気として再循環させることにより、Thermal NO_xの生成量を抑制するだけでなく、排ガス中に残存する酸素を再利用して燃料の燃焼に寄与させることに特徴がある。



図—3 EGR燃焼システムのフロー

②改善技術（EGR燃焼）

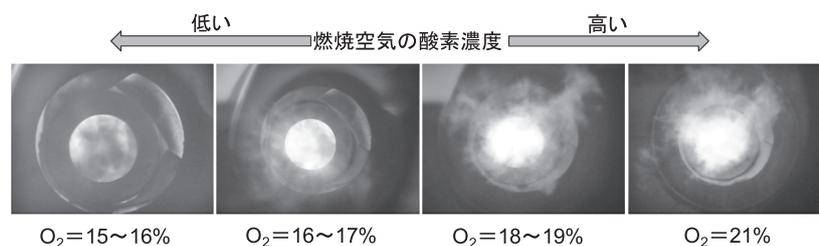
APのさらなる省エネルギー化を推進するためには、無効エネルギーの大半を占める排ガス量を減じる必要がある。排ガスは、骨材から発生する水蒸気、外気からドライヤに侵入する侵入空気、バーナ燃焼により生じる燃焼ガスから構成される。なかでも骨材から

発生する水蒸気量の削減に関しては、本システム以外の支配要因が大きいので本研究の対象から除外し、ここでは、侵入空気とバーナ燃焼ガスについて検討を加える。

侵入空気に関しては、ドライヤ内部の圧力を大気より少しだけ低い圧力に制御して運用している。これは、内部で発生する骨材の微粒分がダストとして外部に噴出し作業環境を悪化させることを防ぐためである。このため、ドライヤ内部は大気との圧力差が生じており、ドライヤ回転のシール部より外気がドライヤ内部に流れ込む。低空気比バーナを搭載したAPであっても煙突出口の排ガス中の残存酸素は、10～13%程度ある。この侵入空気は、骨材との熱交換に寄与することなく、ドライヤ内部の熱エネルギーを奪って排気するだけである。侵入空気削減に関して、ドライヤのシール部の見直しによる改善も期待されるが、侵入空気をゼロにすることはできない。したがって、つぎに述べる新たに開発したEGR燃焼システムにより、侵入空気をバーナ燃焼空気として有効に利用することを検討した。

EGR燃焼システムは、燃焼ガスの一部をバーナ燃焼空気として再度利用することにより、窒素酸化物の生成量を抑制する一般的な低NO_x化技術である。このEGR燃焼を行うことにより、バーナの燃焼空気を大きく削減して超低空気比とし、不足する酸素を排ガスの残存酸素、すなわち、侵入空気で補うことを可能とした。写真—5は、社内実験における酸素濃度とバーナ火炎の状態を示したものである。酸素濃度の低下に伴い燃焼状態が変化して行くのが良くわかる。本EGR燃焼システムでは、一次燃焼空気の酸素濃度を16～17%の範囲にコントロールすることを目標としている。

最後に本研究の成果について、ドライヤ回転数制御システムとEGR燃焼システムの組み合わせにより、実機として数基の納入をすでに完了している。さらに、AP全体の総合的な運用において、本システム導入前に比べて5～10%の省エネルギー化ならびにCO₂の削減を達成している。



写真—5 EGR燃焼

4. おわりに

化石燃料は将来必ず枯渇する。とくに、原油に関してはすでにピークアウトを過ぎており、その可採年数は30年程度であると言われている。また、石油は化学製品の原料としても非常に重要である。このことから、単純に熱エネルギーを取り出すためだけに石油を燃焼させるのではなく、ナイロン製品やプラスチック製品などの消費財として一旦社会に貢献し、その使命を全うして廃棄物となった後に、熱エネルギーを得る手段として燃焼させて再利用するようなスキームの構築が重要であると考えます。また、今現在、単純に熱エネルギーを得ることを目的に油を燃焼させているシステム、特にAPなどの比較的低い温度域で熱利用しているものなどは、廃棄物焼却などのサーマルリサイクルをもっと積極的に推し進めるべきであると考えます。

今後APは、低炭素社会ならびに循環型社会の構築を推進して行く上で、分散型社会や地産地消の観点から時代の要求に応えながら、環境負荷を低減する装置として秘めたるポテンシャルを発揮し、未来永劫、進化して行くことを願って止まない。

JCMMA

《参考文献》

- 1) 近藤洋輝：IPCC第4次評価報告書における気候変化の科学的知見、水文・水資源学会誌、第23巻、第1号、pp.59-74、2010。
- 2) 宮崎真、高橋潔、沖大幹：IPCC第4次評価報告書第2作業部会による気候変動影響・適応・脆弱性に関する最新の化学的知見と今後の課題、水文・水資源学会誌、第23巻、第2号、pp.157-170、2010。
- 3) 環境省 地球環境局：STOP THE 温暖化 2008、<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2008/full.pdf>、pp1-27、2008。
- 4) (社)日本アスファルト合材協会：アスファルト合材製造量推移（全国）、<http://www.jam-a.or.jp/>、2011。
- 5) 経済産業省 資源エネルギー庁：日本のエネルギー 2010、<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/energy-in-japan/energy2010.pdf>、pp1-50、2011。
- 6) 国土交通省 建設リサイクル推進計画 2008：http://www.kensankyo.org/kankyo/hyoka_system/02syousai.pdf#search=建設リサイクルの推進計画、pp1-28、平成20年4月。

【筆者紹介】

蓬萊 秀人（ほうらい ひとと）
日工(株)
事業開発本部
研究開発センター長 兼 市場開発部長
執行役員



「建設機械施工ハンドブック」改訂4版

建設機械及び施工の基礎知識、最新の技術動向、排出ガス規制・地球温暖化とその対応、情報化施工などを、最新情報も織り込み収録。

建設機械を用いた施工現場における監理・主任技術者、監督、世話役、オペレータなどの現場技術者、建設機械メーカー、輸入商社、リース・レンタル業、サービス業などの建設機械技術者や、大学・高等専門学校・高等学校において建設機械と施工法を勉強する学生などに必携です。

建設機械施工技術の修得、また1・2級建設機械施工技士などの国家資格取得のためにも大変有効です。

【構成】

1. 概要
2. 土木学一般
3. 建設機械一般
4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令

6. トラクタ系機械
7. ショベル系機械
8. 運搬機械
9. 基礎工事機械
10. モータグレーダ
11. 締固め機械
12. 舗装機械

●A4判／約800ページ

●定 価

非 会 員：6,300円（本体6,000円）

会 員：5,350円（本体5,095円）

特別会員：4,800円（本体4,570円）

【ただし、特別価格は学校教材販売（学校等教育機関で20冊以上を一括購入申込みされる場合）】

※送料は会員・非会員とも沖縄県以外700円、沖縄県1,050円

※官公庁（学校関係を含む）は会員と同等の取扱いとします。

●発刊 平成23年4月

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>