

B-14 地球温暖化防止対策技術の総合評価に関する研究

(4) エネルギー分野における重点対策の普及に当たっての技術的評価

②熱利用分野の重点対策の評価

研究代表者

工業技術院機械技術研究所

矢部 彰

通商産業省 工業技術院 機械技術研究所

エネルギー部

甲田壽男

エネルギー部 流体力学研究室

矢部彰

エネルギー部 熱工学研究室

白石正夫・竹村文男

平成6-8年度予算額 19,481千円
(平成8年度予算額 6,392千円)

〔要旨〕日本における全エネルギー供給量のうち、熱エネルギーとして利用されている割合は約5割である。また、全一次エネルギー供給量のうち、約6割は有効に利用されずエネルギー損失となり、主に熱エネルギーの形態で放出されている。このように、熱エネルギーの有効利用を図ることは、省エネルギーおよびそれを通じた地球温暖化防止の上で極めて重要である。本研究では、未利用エネルギーの利用促進に関して、汚れた温排水からの熱回収について検討し、汚濁成分の分類、回収可能エネルギーの定量的評価、熱交換器の汚れによる性能低下の評価などを通じて、極限的な熱回収による地球温暖化の低減効果を見積もる。さらに、エネルギー有効利用の一層の促進のための課題の抽出によって、必要かつ有効な消費者側からのエネルギーフローマップ（逆エネルギーフローマップ）を作成し、エネルギー消費の観点から日常生活を考察するためのデータベースを提供する。汚れた温排水からの熱回収に関する研究においては、製鉄所高炉より排出される水砕スラグからの熱回収可能エネルギー量の調査を行うとともに、温水と蒸気による熱エネルギー輸送システムにおける二酸化炭素削減効果を、システムの初期投資、運転時の電力、維持費として汚れ付着による熱交換器の性能低下を含めて大まかに算出した。その結果として、排熱を利用したエネルギー輸送システムはコスト面を考慮しなければ、二酸化炭素削減効果が大きいことが示された。一方、熱利用分野の重点対策を評価するため、エネルギー利用形態に占める熱利用関連の割合を明確にする目的で、消費者側からの視点で構成したエネルギーフローマップ（日常生活に基づく利用形態別エネルギー消費量）を新たに考案し作成した。産業用、運輸用、民生用の全エネルギー使用量を、人間生活の切り口で分解し、表の形に整理した。具体的には、衣、食、住、仕事・学校、社会の5つに大分類し、各分類を小項目から構成した。使用エネルギーとしては、製造エネルギー、原材料製造エネルギー、損失、エネルギー変換ロス分を含む環境への放出分、使用時の消費エネルギーを計算し、示した。また、消費エネルギーの計算に当たっては、エネルギー使用統計、産業連関表を使用して積算し、平成3年の国民一人当たりの平均エネルギー消費量5,150Wと比較検討した。現在まで、約3,800W分をブレークダウンすることが出来、約25%分が未説明である。今後、産業連関表をより活用し、未説明分を減少させる予定である。

[キーワード] 排熱回収、汚濁流体、輸送効率、エネルギーフロー

1. 序

日本における全エネルギー供給量のうち、熱エネルギーとして利用されている割合は約5割である。また、全一次エネルギー供給量のうち、約6割は有効に利用されずエネルギー損失となり、主に熱エネルギーの形態で放出されている。このように、エネルギー形態の中でも大きなウェイトを占める熱エネルギーに焦点を絞り、その徹底有効利用を図ることは、省エネルギーおよびそれを通じた地球温暖化防止の上で極めて重要である。本研究では、未利用エネルギーの利用促進に関して、汚れた温排水からの熱回収について検討し、汚濁成分の分類、回収可能エネルギーの定量的評価、熱交換器の汚れによる性能低下の評価などを通じて、極限的な熱回収による地球温暖化の低減効果を見積もる。さらに、エネルギー有効利用の一層の促進のための課題の抽出によって、必要かつ有効な消費者側からのエネルギーフローマップ（逆エネルギーフローマップ）を作成し、エネルギー消費の観点から日常生活を考察するためのデータベースを提供する。

2. 研究内容および成果

(1) 汚れた温排水からの熱回収

汚れた温排水からの熱回収に関する研究においては、製鉄所高炉より排出される排熱の熱回収可能エネルギー量の調査を行うとともに、汚れによる熱交換器の性能低下を予測するための汚れ付着過程のモデル化のために、汚れ付着モデル実験装置を製作し、伝熱面上での炭酸カルシウムスケールの汚れ付着率を求めた。また、汚れ付着のメカニズムを理解するための数値計算コードを開発し、パラメータの影響を検討し、また、実験との比較を行った。さらに、温水と蒸気による熱エネルギー輸送システムにおける二酸化炭素削減効果を、システムの初期投資、運転時の電力などを含めて大まかに算出した。

① 熱回収可能エネルギー量の調査

回収可能エネルギー量の調査については、まず、一貫製鉄所における排熱を調査した。製鉄所における総排熱量は15℃を基準とすると約5240MWで、うち未回収のエネルギーは約4400MWとなっている⁽¹⁾。表1に製鉄所における排熱の内訳を示す。表より、未回収の排熱で大きな部分を占めているのは、高炉から排出される高炉スラグを冷却した水砕スラグの保有熱でその合計は約1140MWで、平均的な温度は80℃程度である。排ガスとして、200℃程度のコークス炉排ガスがある。したがって、ここでは、この80℃程度の排熱と200℃程度の排熱を回収すると仮定する。

② 熱交換器の汚れ性能低下予測

この水砕スラグの平均的な温度は80℃程度で、高炉スラグを直接冷却するため、その冷却水には炭酸カルシウムやシリカなどの結晶性物質が高濃度で含まれ、熱交換を行う際に熱交換器へのスケール付着が大きな問題となる。したがって、今後、回収可能エネルギー量の評価を行う際には、初期投資、スケール付着による性能低下、熱交換器の寿命とそれに伴う熱交換器の交換に要するコストを考慮し、最終的に二酸化炭素の排出削減量を見積もる必要がある。

表1. 製鉄所における排熱の内訳

排熱の種類	平均温度レベル	排熱量 (15℃基準)	回収可能性
コークス炉排ガス	250℃	80(MW)	△
コークス炉排ガス	250℃	140(MW)	約50%既回収
加熱炉排ガス	700℃	300(MW)	約50%既回収
発生BFG	150℃	160(MW)	×
発生COG	700℃	150(MW)	△
発生LDG	1400℃	120(MW)	約30%既回収
赤熱コークス	1000℃	370(MW)	約65%既回収
焼結鉱	600℃	400(MW)	約20%既回収
高炉スラグ	75℃	280(MW)	○
スラブ・ブルーム	900℃	270(MW)	約30%既回収
冷却水顕熱	70℃	860(MW)	○

ここでは、評価因子のなかで一番評価が難しいスケール付着による熱交換器の性能低下を取り上げ、スケール付着モデルを構築するための付着メカニズムの解明を実験的および理論的に行なった。実験的解析においては、炭酸カルシウムを含む溶液が加熱面上を薄液膜状に流れる場合における加熱面上のスケール付着の過程を解析した。図1に実験装置の概略図を示す。本実験装置は、伝熱部、溶液注入部、測定系からなる。実験は、伝熱面上を過飽和炭酸カルシウムを薄液膜状に流し、静電容量計を用いて液膜厚さを測定するとともに液膜表面と伝熱面上のpHおよび液膜温度を測定した。その結果、結晶化しないとき、液膜表面のpHは入口付近で大きくなり、その後少しずつ大きくなった。そして、伝熱面上におけるpHはほぼ一定の値を示した。しかし、結晶化する場合は液膜表面における入り口付近では結晶化しない場合と同様に大きくなったがそ

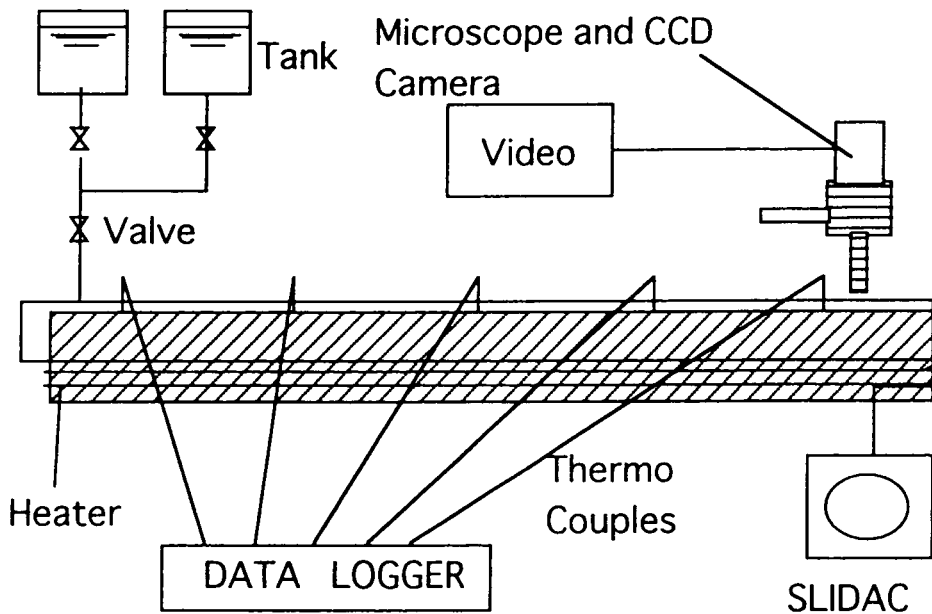


図1 実験装置の概略図

の後はほぼ一定の値を示した。一方伝熱面上ではしだいに下がっていった。また、結晶の析出ははじめの場所を測定し飽和比が約7のところから析出し、出口部pHの測定により過飽和状態から結晶化が起き始めるとpHは下がってくるのが解った。さらに析出しはじめた場所よりも出口部で結晶が多く見られた。このことから、炭酸カルシウムは液膜内部では結晶化せず、加熱面上において析出することが解った。

また、炭酸カルシウムを含む溶液が加熱面上を薄液膜状に流れる場合におけるスケール付着の過程を、液膜内部のガス及びイオン拡散を考慮して数値解析した。解析においては、イオン平衡の式、電気的中性条件、イオンの拡散方程式、実験で測定した液膜表面におけるpH分布を境界条件として解いた。結晶化がおこらない場合、加熱面上でのみ結晶化がおこる場合について計算を行い、それぞれのイオン濃度分布を求めた。

炭酸カルシウムを含む溶液が加熱面上を薄液膜状に流れる場合におけるスケール付着の過程を、液膜内部のガス及びイオン拡散を考慮して数値解析し、実験で測定した液膜表面におけるpH分布を境界条件として、結晶化が起こらない場合、結晶化が起こる場合について計算を行った。その結果を図2に示す。入り口条件は実験で用いた溶液と同じものとし、結晶化がおこらない場合、カルシウムイオン濃度が5.775(mmol/l)、pHが6.305、温度が18.1(℃)、流量が60(ml/min)、液膜厚さが0.8(mm)、結晶化がおこる場合はカルシウムイオン濃度が4.672 (mmol/l)、pHが6.304、温度が23.4(℃)、流量が60(ml/min)、液膜厚さが0.8(mm)、また出口温度は70(℃)である。グラフにおいて、実線白丸が結晶化しない場合の液膜表面pH分布、実線丸が加熱面上でのみ結晶化

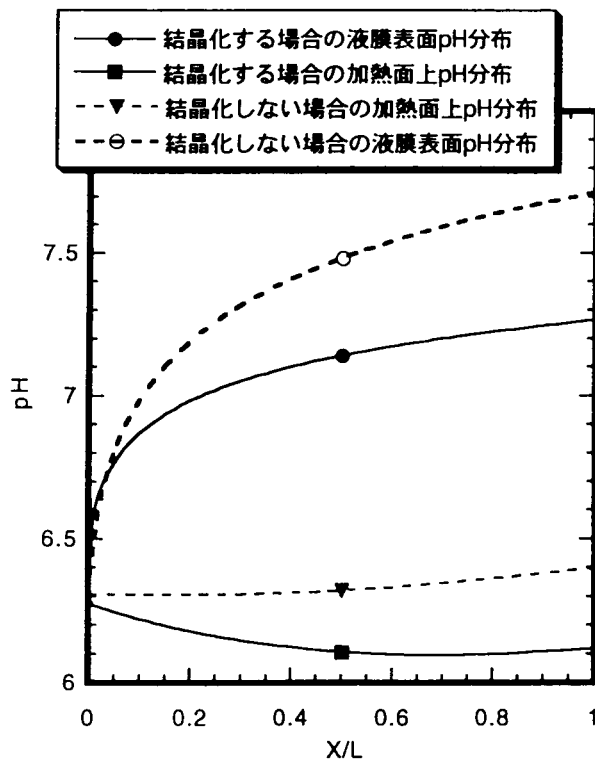


図2 数値解析による液膜表面と加熱面上におけるpH分布

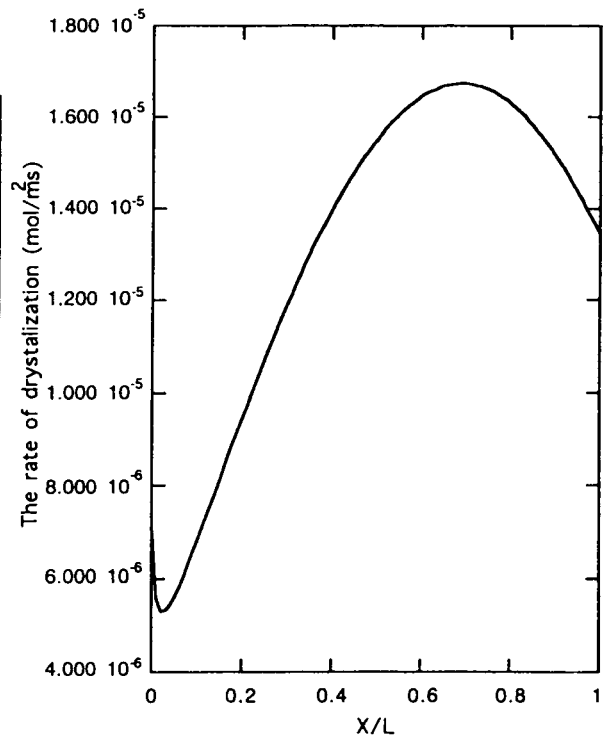


図3 流れ方向結晶化率の分布

する場合の液膜表面pH分布、実線三角が結晶化しない場合の加熱面上pH分布、実線四角が加熱面上でのみ結晶化する場合の加熱面上pH分布を表している。これより、実験の液膜表面pH分布を境界条件として求めた加熱面上pHは、結晶化しない場合において、入口条件とほぼ同じ値で一定となった。また、加熱面上で結晶化する場合については、pH値は少しずつ小さくなり入口pHよりも低い値を示した。また、流れ方向の結晶化率について求めた結果を図3に示す。実験においては、析出率を測定することは不可能であったが、実験において析出し始めたところから次第に結晶が増えていったことと同様な結果を表していることから、本解析モデルは汚れの析出率予測がある程度可能であることを示している。

③熱エネルギー輸送システムの二酸化炭素排出削減効果の評価

ここでは、まず、80℃程度の温排水の熱エネルギーを温水で10km輸送するシステムの二酸化炭素排出削減効果の評価を行う。システム条件としては、排熱温度は80℃の温水が十分あり、熱供給サイドの出口温度は75℃、熱需要サイドへの熱授与量は10MWとし、熱需要サイドにおいては、水温20℃の水から60℃の温水をつくるものとする。また、熱需要サイドの熱授与側温水の温度降下は10℃とする。以上より、熱輸送システムの概要設計を行うと、熱需要サイドの熱受側温水の流量は60(kg/s)となり、熱需要サイドの熱授与側温水の流量は240(kg/s)、すなわち0.24(m³/s)となり、水当量としては1.0(MW/K)となる。配管の直径を360mmとすると平均流速が2.36(m/s)となる。配管における熱損失は、保温材であるポリウレタンの厚さを20mm、表面の熱伝達率を8(W/m²K)とすると、熱放散量を見積もる計算式⁽²⁾からそれぞれの熱放散量は往路で96.8(W/m)、還路で77.54(W/m)となる。それぞれの損失を温度で示すと0.97℃と0.78℃になる。配管の摩擦損失は、配管のレイノルズ数が0.85x10⁶となることから、ムーディー線図⁽³⁾を用いて摩擦損失を計算すると22.28(W/m)となる。輸送エネルギーとして投入するエネルギーは全長が20kmより0.446(MW)となる。一方、摩擦損失は温水の温度上昇となるからその分を熱損失の分から差し引くと、往路と還路それぞれの熱損失は温度で示すと0.74℃と0.55℃になる。以上より、システム効率を計算すると電力換算係数を0.35とすれば、効率は0.792となる。

さらに、システムの二酸化炭素削減効果に検討する。初期投資としては、大きく熱交換器、配管、ポンプとなる。ここでは、熱交換器と配管について材料のみを計算する。熱交換器用のステンレスの伝熱面積を、本輸送システムの熱交換器の熱伝達単位数とプレート型熱交換器の平均熱通過率をもとに計算し、熱交換器の厚さを1mm、ケーシングとして十倍の厚さをとると全体で10.54(m³)、つまり83トン用いられる。鋼管は、内径360mm、厚さ8mm、長さ20kmとして1452トン用いられる。保温材のウレタンは、内径376mm、厚さ20mm、長さ20km、密度50kg/m³と

表2 温水熱輸送システムの二酸化炭素削減効果

	投入量	二酸化炭素原単位	二酸化炭素削減量
ステンレス	83トン	3.273(kg/kg)	-233.3トン
鋼管	1452トン	1.3(kg/kg)	-1887.6トン
ウレタン	25トン	3.375(kg/kg)	-83.9トン
ポンプ動力	14.3(MWh/day)	0.4218(kg/kWh)	-6トン/日
熱出力	240(MWh/day)	0.4218(kg/kWh)	101トン/日

して25トン用いられる。運転時では、0.446MWのエネルギーが必要。ポンプ効率を0.75とすると0.6MWの電力が必要。一日当たりでみると、14272(kWh)使うことになる。

以上の値にそれぞれの二酸化炭素原単位⁽⁴⁾をかけ合わせ、二酸化炭素削減量を評価した結果を表2にまとめる。表より、排熱を利用したシステムにおいては、インフラ設備、運転などによる二酸化炭素排出量をはるかに上回る削減効果があることがわかる。

次に、排熱温度が200℃の排ガスがあった場合について、その熱エネルギーを高温水熱輸送と水蒸気輸送システムで輸送した場合のシステム効率とその経済性について検討する。

・輸送効率

システム条件は以下のように仮定する。

- ・排熱温度は200℃の水蒸気とし、熱需要サイドへの熱授与量を29.1MW(25Gcal/h)とする。
- ・熱供給サイドの出口温度は高温水、水蒸気の場合ともに183℃とする。
- ・熱需要サイドにおいては、簡単のため地域熱供給会社に150℃の温水を供給し、戻りの温度を140℃とする。また、熱供給時間は一年のうち1200時間とし、それ以外は温度を保つ状態で維持する。

・高温水熱輸送システム

ここでは、高温水熱輸送システムの設計を行い、配管直径、輸送距離に対する輸送効率について検討を行った。システム設計においては、熱交換器の熱伝達効率、配管における熱損失と圧力損失を考慮した。また、ポンプ動力の算出においては、ポンプ効率は0.7、1次エネルギー換算係数として0.35を用いた。以上から、システムの輸送効率と熱供給稼動時間を考慮した年間平均輸送効率を計算した。ここで、年間平均輸送効率は、1年8760時間のうち1200時間は29.1MWを出力し、残りの7560時間は熱出力をとらずに温度だけを維持すると考えた。このとき、温度維持期間の入力熱量は熱損失分、さらに流体を流すポンプ動力が必要となる。

・水蒸気熱輸送システム

水蒸気輸送システムの場合、輸送方法は二つあると考えられる。一つは配管途中でドレインが発生しても、ポンプ動力を用いずに輸送する方法と、もう一つは配管途中でドレインが発生ないように、やや過熱状態を保ったまま輸送する方法である。後者に関しては配管の途中に例えば1kmごとにブースターを設置することで可能となる。ここでは、それぞれの方法について、輸送効率を検討する。

・ドレインあり

輸送にポンプ動力を使わずに蒸気圧のみで輸送する場合にはドレインが生じる。したがって、熱損失、圧力損失により凝縮する分を余計に流す必要がある。この場合における輸送効率と熱供給稼動時間を考慮した年間平均輸送効率を計算した。蒸気輸送システムの場合の年間平均輸送効率は、蒸気配管内を一定温度に保つことを考えると、熱損失分のみを常に補給すればよい。

・ドレインなし

輸送においてドレインが生じないようにするためには、熱損失と圧力損失によるエンタルピー損失を圧縮によって過熱状態に保ち続ける必要がある。圧縮機がシステム全体で1台程度の場合、

温度と圧力を相当上げる必要があり、熱損失の点からも効率が悪い。したがって、圧縮機を相当台数導入し、やや過熱状態に保って輸送するのが適当であろう。このときのシステムは単純で蒸気配管内部は入口状態を保ち、熱損失と圧力損失分を動力でまかなえばよい。

図4に輸送距離30kmの場合における配管径に対する高温水熱輸送システム、水蒸気熱輸送システムのドレインがある場合とない場合についての輸送効率、年間平均輸送効率を示す。ただし、高温水熱輸送システムにおける保温厚さは100mm、鋼管の厚さは10mm、比熱は4380(J/kgK)、密度は890(kg/m³)とした。水蒸気輸送システムにおける蒸気配管の保温厚さは100mm、鋼管の厚さは10mm、ドレイン配管の径は200mm、保温厚さは50mm、鋼管の厚さは10mm、比熱は4380(J/kgK)、密度は920(kg/m³)とした。

図5に配管径が600mmの場合における輸送距離に対する輸送効率、年間平均輸送効率を示す。ただし、条件については図4と同様である。

・コストに関する検討

高温水熱輸送と水蒸気輸送システムのコストに関しては、設備投資分として、熱交換部、配管部（土木工事分を含む）、ポンプを考える。運転コストについては、ポンプ動力を考える。

・設備投資分

熱交換部については、詳細な設計データが必要であるが、ここでは簡単に以下の値で評価する。シェルアンドチューブ型熱交換器の場合、1Gcal/h程度の熱交換器の場合にkcal/hあたり約2.5円で、プレート型熱交換器の場合には、シェルアンドチューブ型熱交換器の7割程度のコストで良い。したがって、本システムの場合にはkcal/hあたり1.75円とする。以上より、熱交換器コストを計算する。

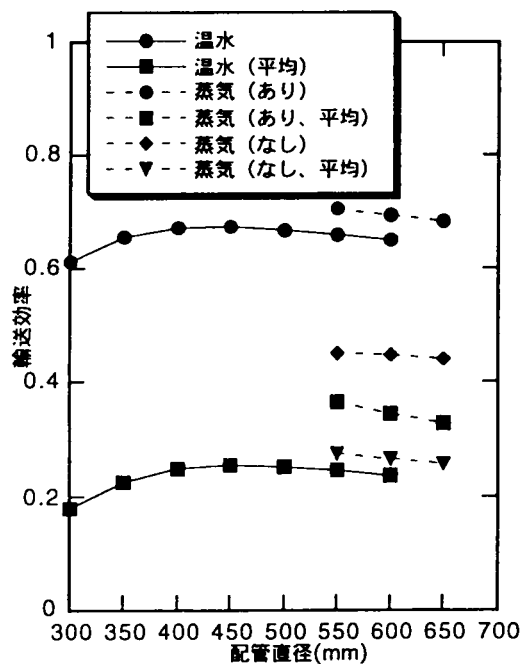


図4 配管径に対する輸送効率

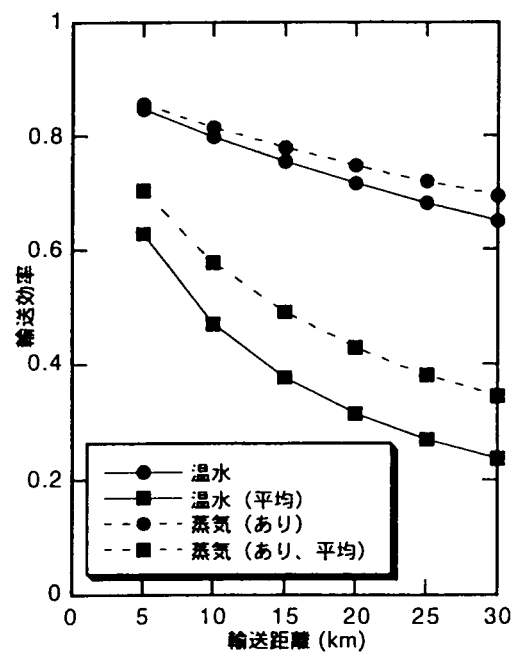


図5 輸送距離に対する輸送効率

高温水輸送の場合には、熱供給サイドはシェルアンドチューブ型熱交換器、熱需要サイドはプレート型熱交換器であるから熱輸送効率を η として以下のように計算できる。

$$\text{熱交換器コスト(百万円)}=2.5 \times 25 \div \eta + 2.5 \times 25 \times 0.7$$

蒸気輸送の場合には、熱供給サイド、熱需要サイドともにシェルアンドチューブ型熱交換器であるから以下のように計算できる。

$$\text{熱交換器コスト(百万円)}=2.5 \times 25 \times (1 + 1/\eta)$$

配管部については、トレンチ方式と直埋設方式について検討する。ここでは、温水輸送については配管径600mm、保温厚さは100mm、蒸気輸送については配管径600mm、保温厚さは100mm、ドレイン配管の径は200mm、保温厚さは50mmとして試算した。

トレンチ方式の場合には切削深さと幅はだいたい次の式で評価できる。

$$H(\text{mm})=900 + \phi_1 + \phi_2, \quad W=700 + \phi_{\max}$$

上述の条件では、温水システムの場合が $H=2500\text{mm}$ 、 $W=1500\text{mm}$ 、蒸気輸送システムの場合が $H=2000\text{mm}$ 、 $W=1500\text{mm}$ となる。このときの配管工事費（配管費込み）はそれぞれ1,410(百万円/km)と641(百万円/km)、土木工事費は670(百万円/km)と571(百万円/km)となる。

直埋設方式の場合には切削深さと幅はだいたい次の式で評価できる。

$$H(\text{mm})=3000 + \phi_{\max}, \quad W=2\phi_1 + 2\phi_2 + \phi_{\max}$$

上述の条件では、温水システムの場合が $H=3800\text{mm}$ 、 $W=4000\text{mm}$ 、蒸気輸送システムの場合が $H=3800\text{mm}$ 、 $W=3000\text{mm}$ となる。このときの配管工事費はそれぞれ1,880(百万円/km)と855(百万円/km)、土木工事費は289(百万円/km)と253(百万円/km)となる。

ポンプコストについては、はっきりした数字はないが現実の値に近いものとして、100(百万円/MW)程度と考えられる。

・ランニングコスト分

ポンプ運転コストはポンプ動力に対して、15円/kWhをかければ算出できる。

図6に、温水輸送と蒸気輸送について距離に対するトータルコストを示し、そのトータルコストに対し、熱単価(円/Mcal)という形で表示した結果を図7に示す。ここで、熱単価の計算は設備投資分を20年で回収する、すなわちトータルコストを20年間に供給する熱量で割った値である。ただし、金利、維持費などもろもろについては考慮しなかった。表2より、排熱を利用したシステムにおいては、インフラ設備、運転などによる二酸化炭素排出量をはるかに上回る削減効果があることが示されたが、本システムの整備にはやはりコストの問題が大きいことがこの図より示される。以上より、排熱を利用したシステムは、コストを考慮しなければ、二酸化炭素削減効果の大きいシステムであることがわかる。

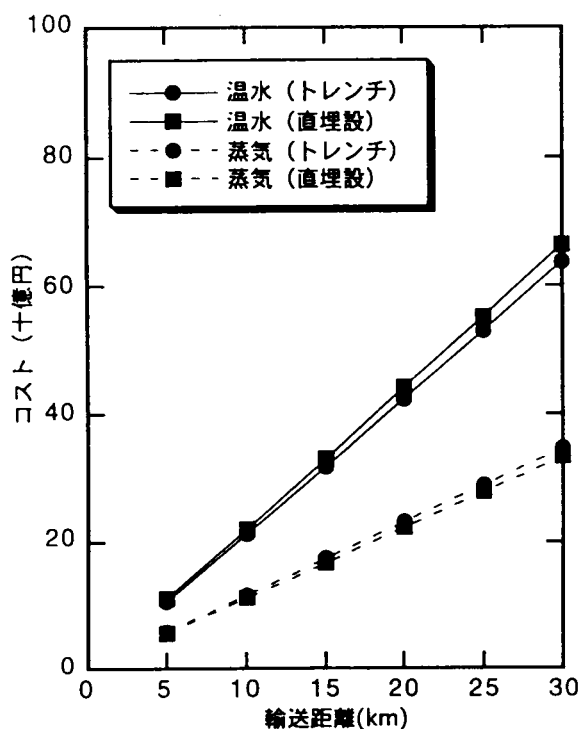


図6 輸送距離に対するトータルコスト

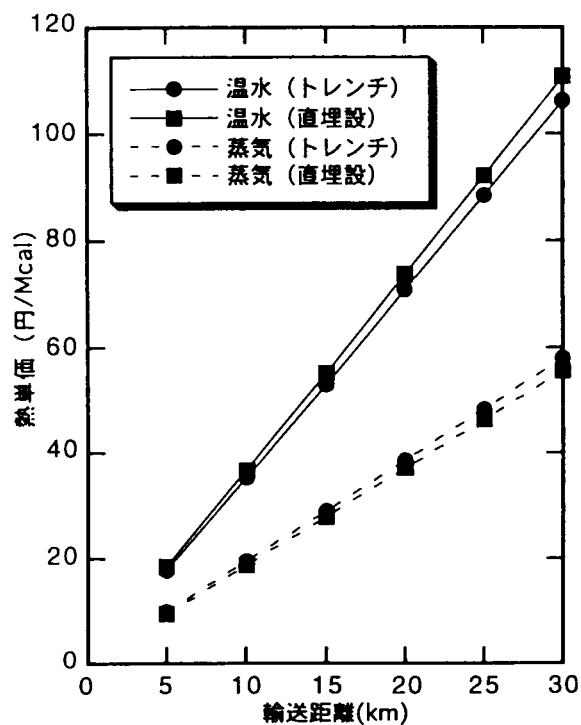


図7 輸送距離に対する熱単価

(2) エネルギーフローマップの作成⁽⁴⁾

消費者からのエネルギーフローマップの作成に関しては、人間生活を、衣、食、住、仕事・学校、社会の5つに分類し、項目として30項目をひとまず選択して、エネルギー使用量を積算する作業に入った。具体的な項目としては、衣に関しては、洋服と洗濯を取り上げ、洗濯の中には、クリーニングやアイロン、乾燥機でのエネルギー消費も取り入れることとした。食では、食物、調理、冷蔵、外食、ゴミを取り上げ、食物の中には、野菜や果物の生産、流通、また、流通過程における冷凍保存なども含めることとした。調理には、ガス、電子レンジ、食器洗い機なども含め、冷蔵は主に冷蔵庫、外食は主にレストランを対象にした。住では、家、自動車、冷暖房、風呂、照明、テレビ・ビデオ、トイレ、寝具、娯楽、化粧・育児、健康・スポーツ、情報、通信・運送、買い物、医療に分類した。家は、一戸建て・マンション・共同住宅などを積算する形で含め、自動車は自家用車のみを考慮し、娯楽はファミコンや音楽、映画などを含めた。また、情報には、新聞や本を考慮し、通信・運送には、電話・ファックス・郵便・宅急便・引っ越しを含めた。さらに、買い物には、デパート・スーパー・商店に関するエネルギー消費を含めた。仕事・学校に関しては、建物、空調、通勤・通学・公共交通、出張・旅行に分類した。建物には、建物内で照明やコピーなどで消費する電気・ガス・水道を含み、出張・旅行には、航空機・ホテルなどに関わるエネルギー消費を含めた。さらに、社会に関わるものとして、道路・橋、造成・埋立、防衛にひとまず分類し、試算することにした。それ以外に、大気に放出(損失)の項目を設け、発電所等での環境への放出分を考慮した。

また、逆エネルギーフローという視点から、消費者の接する部分で使用されるエネルギー、例

表3 消費者側から分析したエネルギー使用量とエネルギーフロー

	使用 エネルギー (W)	製造エネルギー + 原材料製造 エネルギー (W)	環境への 放出(損 失,エネルギー 変換ロス分) (W)	小計 (W)	合計 (W)
衣					
洋服、寝具	—	68	18	86	137
洗濯(クリーニング、アイロン、乾燥機)	16	4	31	51	
食					
食物(野菜、果物生産、冷凍保存)	—	90	38	128	296
調理(ガス、電子レンジ、炊飯器、 食器洗い)	44	2	13	59	
冷蔵(冷蔵庫)	15	6	29	50	
外食(レストラン)	33	—	26	59	
ごみ	0	—	—	0	
住					
家(一戸建て、マンション)	—	148	—	148	1,576
自動車(自家用車)	437	90	—	527	
冷暖房	142	9	44	195	
給湯(風呂、洗面)	173	—	25	198	
照明	17	—	32	49	
テレビ、ビデオ、ステレオCD、パソコン、ドライヤー	102	5	194	301	
その他電力	—	—	—	—	
化粧、育児 情報(新聞、本)	—	102	56	158	
仕事・学校					
建物(電気、ガス、水道、コピー)	162	327	143	652	869
通勤・通学、公共交通(バス、鉄道、タクシー)	56	31	—	87	
出張、旅行(航空機、船)	35	—	—	35	
ホテル	53	—	42	95	
社会・サービス					
運送、通信(貨物、郵便、宅急便、 ゴミ運搬、引っ越し、Tel、Fax)	324	—	—	324	918
買い物(デパート、スーパー、商店)	87	—	68	155	
医療	45	—	36	81	
娯楽(映画)	15	—	12	27	
道路	—	103	—	103	
河川、下水、水道	—	92	—	92	
公園、造成、港湾、農業土木、その他	—	136	—	136	
未解明部分 (ブレイクダウンできていないもの)	568	—	786	1,354	1,354
合計			1,593		5,150 (世界平均 約1,900)

例えば、動かすのに消費するエネルギーを、使用エネルギーとし、機器を製造するのに必要なエネルギーを製造エネルギー、原材料を作るのに必要なエネルギーを原材料製造エネルギーとして、製品を材料のレベルまで分析してエネルギー消費を分析する方法を考案した。

さらに、エネルギー原単位としては、年間の統計を瞬時値に換算して、W（ワット）単位で表示することにした。なお、製造業および農業に関しては、工場でのエネルギー消費は、出来上がる製品、および、農業生産物の製造エネルギーとしてカウントすることにした。消費エネルギーの計算に当たっては、エネルギー使用統計、産業連関表を使用して積算し、平成3年の国民一人当たりの平均エネルギー消費量5、150Wと比較検討した。現在まで、約3、800W分をブレークダウンすることが出来、約25%分が未解明である。今後、産業連関表をより活用し、未解明分を減少させる予定であるが、現在までの解析からにより得られた分類を表3に示す。熱利用分野は、食の領域で、調理1%、冷蔵1%であった。また、住まいの分野では、冷暖房4%、風呂などの給湯4%となり、熱利用分野の合計は約10%となった。この量は、家庭における自家用車のエネルギー消費量とほぼ同等である。特に、冷暖房・給湯を高性能ヒートポンプの導入、また、排熱の輸送により、この熱利用分野のエネルギー有効利用をはかることにより、現在増加しつつある熱利用分野のエネルギー消費量を抑制することは、エネルギー消費低減に有為な貢献の出来ることが本解析により明らかとなった。また、本研究で作成した、消費者側から分析したエネルギー使用量の表は、実感しにくいエネルギー消費量を身近にわかりやすい形で初めて提供したのものとして、高く評価されており、「日常生活に基づくエネルギー消費分析表」と今後呼称し、エネルギーを身近に感じるために、また、エネルギー消費に対する議論を活発にするための有効な資料として活用してゆく予定である。

3. まとめ

汚れた温排水からの熱回収に関する研究においては、製鉄所高炉より排出される水砕スラグからの熱回収可能エネルギー量の調査を行うとともに、温水と蒸気による熱エネルギー輸送システムにおける二酸化炭素削減効果を、システムの初期投資、運転時の電力、維持費として汚れ付着による熱交換器の性能低下を含めて大まかに算出した。その結果として、排熱を利用したエネルギー輸送システムはコスト面を考慮しなければ、二酸化炭素削減効果が大きいことが示された。

また、消費者からのエネルギーフローマップの作成に関しては、人間生活を、衣、食、住、仕事・学校、社会の5つに分類し、各種エネルギー統計を用いて、エネルギー使用量を積算し、「日常生活に基づくエネルギー消費分析表」と今後呼称し、エネルギーを身近に感じるために、また、エネルギー消費に対する議論を活発にするための有効な資料として活用してゆく予定である。

4. 参考文献

- (1)一貫製鉄所の未利用エネルギー、(社)日本鉄鋼連盟編.
- (2)例えば、JISハンドブック 配管、(財)日本規格協会.
- (3)例えば、白倉ら、流体力学(2)、コロナ社.
- (4)稲葉ら、環境管理 Vol.31, No.6 1995
- (5)エネルギー経済統計要覧95、エネルギー経済研究所編.

[研究発表の状況]

(学会等)

竹村ら, '熱交換器表面における炭酸カルシウム結晶の発生', 第32回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 1995.

鈴木, 竹村ら, '液膜内での炭酸カルシウム結晶化に対する輸送現象の影響', 第33回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 1996.

矢部, '地球温暖化対策技術評価研究の現状とその重要性', 第74期通常総会講演会講演論文集, 1997.