

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360428

研究課題名（和文）

温室効果ガス排出量削減を目指した水素ガス切断プロセスの解明

研究課題名（英文）

Clarification of Hydrogen gas cutting process aimed at greenhouse gas mitigation

研究代表者

大沢 直樹（OHSAWA NAOKI）

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90252585

研究成果の概要（和文）：局所熱伝達率に基づく新しい予熱火炎入熱推定法を開発し、水素ガスと石化ガスの化学的発熱量と入熱特性の関係を調べた。移動熱源まわりの準定常熱伝導場を解析できる、有限要素解析コードを開発し、水素ガス・石化ガス使用時の、カーフ前方加熱面温度および予熱・燃焼に起因する入熱量を比較した。その結果、石化ガスに代えて水素ガスを使用すると、カーフ前方の発火温度領域が増大し、最大切断速度における総入熱量が減少することが示された。

研究成果の概要（英文）：A new heat input estimation method based on local heat transfer for preheating of Oxyfuel gas cutting is developed, and the relation of the total calorific value and heat input properties for Hydrogen- gas and fossil gas. A thermal FE code with moving coordinates analysis function is developed. The relation of the gas heat transient characteristics to the work piece temperature ahead of the cutting kerf and the total heat input is examined by using this code. It is found that the maximum cutting speed, at which the work piece's heating face temperature ahead of the cutting kerf is higher than the kindling temperature, becomes higher, and the total heat input per unit cutting length becomes smaller when preheating is performed by Hydrogen gas in place of fossil gas.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2010 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：酸素ガス切断，予熱，水素ガス，切断性能，準定常熱伝導場，有限要素法

1. 研究開始当初の背景

最近、燃料ガスに、従来多用されてきたアセチレン、LP ガスに代わり水素を使用する動きがある。水素ガス切断は、CO₂ 排出量削減により環境保護に貢献すると同時に、既存ガス種に比べて熱歪軽減，切断面精度向上，

切断速度向上などの効果があるとされるが、その性能向上メカニズムはほとんど解明されておらず、更なる性能向上の余地を残していると推定される。

予熱火炎性状と熱的効果の関係，および熱的効果が切断プロセスに及ぼす影響を解明で

されば、予熱炎調整の脱技能化による技能継承問題の解決、燃料ガスごとの最適予熱火炎性状が判明することによる切断性能の向上、さらに水素ガス切断の普及促進による環境保護への貢献が期待できる。

2. 研究の目的

ガス切断における予熱火炎性状と熱的効果の関係、および熱的効果が切断プロセスに及ぼす影響を解明するために、以下を研究した。

(1) 水素ガスおよび石化ガスについて、予熱中の局所熱伝達パラメータと入熱量および被切断材温度の関係を詳細に調べる。

(2) 予熱炎からの伝熱と材料の酸化(燃焼)による発熱を同時に考慮できる熱伝導解析手法を開発する。

(3) 加熱条件(燃料ガス種・火炎状態など)と切断・ピアシング性能および総入熱量の関係を明らかにする。

(4) 水素ガスと石化ガスの切断性能を比較して、水素等の新しい燃料ガスの長所・短所を論じる。

3. 研究の方法

(1) 水素ガスおよび石化ガスを使用して円形鋼板のピアシング試験を実施し、固体燃焼開始の臨界状態に対応する表面温度分布を特定する。

(2) ピアシング予熱中の局所熱伝達パラメータを遺伝的アルゴリズムにより同定する技術を開発する。

(3) 水素ガスおよび石化ガスについて、燃焼開始臨界状態に達するまでの時間と局所熱伝達パラメータの関係を調べる。

(4) 移動熱源まわりの過渡熱伝導場を熱源とともに移動する座標系を用いて解析できる熱伝導有限要素計算コードを開発し、予熱ガスからの熱伝達と固体燃焼を同時に考慮した切断カーブ上熱境界条件の決定手法を開発する。

(5) 予熱のガス種・ガス条件を変化させた切断シミュレーションを実施し、固体発熱入熱量、ガス熱伝達量およびカーブ前方加熱面温度分布を計算する。その結果より、切断速度とカーブ前方温度の関係、および固体発熱入熱量、ガス熱伝達量とカーブ前方温度の関係を調べる。これらの結果を総合し、切断速度の高速化と総入熱量の低減を達成するのに必要な予熱ガス条件を示す。

4. 研究成果

4. 1. 水素ガスによるピアシング性能の向上メカニズム

局所熱伝達率と鋼板直上ガス温度が時間で不変と仮定する著者らの入熱推定法を、ガス予熱火炎の入熱特性を考慮できるよう改良し、水素 LP 混合ガス(H2/LP ガス)および LP

ガス(LPG)を用いた点加熱試験を実施して予熱ガス火炎の入熱特性を同定した。入熱特性の推定は自己適応型進化(Self-Adaptive-Evolution)アルゴリズムに基づく非線形最適化法により行った。熱伝達率およびガス温度の空間分布は、熱ガス噴出口で最大値を示し、この位置からトーチ中央(酸素ノズル中央)および外側に向けて単調に減少すると仮定した。この空間分布を区分直線で近似し、その節点座標を零~1の範囲の値をもつ実数パラメータの式で与えた。そして、乱数によりこれらのパラメータを決めて、遺伝的アルゴリズムの個体を発生させた。

さらに、各予熱条件について、加熱面上の熱流束の時間空間変化を調べるとともに、点加熱試験で同定した入熱特性を用いて鋼の発火点を上回る領域の広さが一定値以上となるまでの時間を計算した結果と、実験で計測した最小ピアシング時間と比較した。その結果、以下の知見を得た。

(1) H2/LP ガスと LPG の伝熱パラメータ(局所熱伝達率と被切断材直上ガス温度)を比較した結果、予熱ガス噴出口から外側に約 10mm の範囲で H2/LP ガスの熱伝達率が LPG より有意に大きく、予熱ガス噴出口から外側に約 5mm の範囲では H2/LP ガスのガス温度が LPG を上回るが、その外側では大小関係が逆転していることが判った。これにより、これまで定量的評価なしで議論されていた”水素ガス火炎の炎の集中度”が、初めて数値的に示された。同定した伝熱パラメータを用いて推定した点加熱中の鋼板裏面温度は計測温度によく一致した。これは、本研究で採用した、局所熱伝達率と被切断材直上ガス温度が時間で不変と近似できるとの仮定の妥当性と、提案した非線形最適化法に基づく伝熱パラメータ同定法の有効性、および同定した伝熱パラメータ(局所熱伝達率および被切断材直上ガス温度)の精度の高さを示している。

(2) H2/LP ガス予熱火炎のガス噴出孔直下の熱流束は、LPG 予熱火炎での熱流束より約 40%大きい。これは、予熱ガスからの入熱特性は燃料ガスの化学的発熱量のみで評価することはできないことを示している。

(3) 本研究の実験条件では、ピアシングに成功するための必要条件は、予熱完了時に 1300K 以上の加熱面温度となった領域の直径が 10mm 以上であることになっていた。以下で、 $r=6\text{mm}$ 位置の加熱面温度が 1300K 以上に達するまでの時間を“発火準備時間”および t_{WPK} (Warm-up Period for Kindling)と表す。 t_{WPK} は予熱完了までの最短所要時間に相当すると考えられる。点加熱試験で同定した入熱パラメータを用いて推定した t_{WPK} は H2/LP ガスで約 22.5 秒、LPG で約 28.8 秒であり、ピアシング試験で決定した最小ピア

シング時間は、H₂/LP ガスで 20 秒、LPG で 30 秒であった。t_{wpk} の計算により推定した最短ピアシング時間は、実験結果とほぼ一致していた。また、サーモグラフィによりピアシング加熱面温度を測定したところ、計測温度は計算温度に概ね一定していた。以上の結果は、本研究の実験条件では、薄板円盤の点加熱試験で同定した板直上ガス温度および局所熱伝達率の分布が時間で不変と近似すれば、ピアシング中の予熱ガスからの伝熱を高い精度で計算でき、最小ピアシング時間も推定できることを示している。本研究により、予熱火炎の入熱特性とピアシング性能の関係を定量的に調査することがはじめて可能になった。

(4) H₂/LP ガスの発熱量は LPG の 75% であるが、最小ピアシング時間は LPG の約 2/3 に短縮された。H₂/LP ガスの予熱完了時の熱歪発生領域は LPG より小さいが、その理由は局所熱伝達率が大きいためである。予熱完了直後 (H₂/LP ガス : 20 秒, LPG : 30 秒) における鋼板内温度の板断面内分布を比較すると、加熱面の温度分布は予熱ガス種 (H₂/LP ガス, LPG) によらず概ね等しいが、板厚方向温度分布は大きく異なる。鋼板温度が力学的溶融温度 T_m (約 900K) を上回る領域を比較すると、予熱ガスから鋼板への熱流束が小さい LPG では裏面まで $T > T_m$ になるが、熱流束が大きい H₂/LP ガスでは板厚の約 2/3 までしか T_m に達しない。これは、H₂/LP ガスの熱流束が大きいので、 $T > T_m$ になる領域が板裏面に達する前に加熱面が発火条件を満たすためと考えられる。 $T > T_m$ になると固有歪が発生するので、熱歪が生じる領域は、LPG より H₂/LP ガスの方が小さくなる。以上の結果は、化学的発熱量が小さいガスによる予熱の方が最小ピアシング時間が短縮される場合があることを示している。また、H₂/LP ガスの予熱完了時の熱歪発生領域が LPG より小さくなったのは、H₂/LP ガスの化学的発熱量が小さいためでなく、局所熱伝達率については熱流束が大きいためであることを示している。以上の結果は、ピアシング性能と熱歪の大きさを燃料ガスの化学的発熱量のみで評価することはできないことを意味する。

4. 2. 水素ガスによる切断性能の向上メカニズム

被切断材の燃焼・溶融・飛散は多数の素過程から成る複雑な現象である。計算科学の発達により各素過程のシミュレーションが可能になりつつあるが、素過程のモデル化や計算パラメータに多くの不確実性を残し、実施工条件で被切断材に供給される熱量を定量的に評価できる段階には至っていない。

直接解析の代替手段として、切断カーフ上の熱的条件、すなわち、カーフ前縁で温度一定 (被切断材の融点) かつトーチ後方のカーフ

で断熱の条件が満たされるような熱伝導場を定めることでカーフ上の熱移動量を評価する手法がある。Matsuyama et al.(1991)は、移動熱源周りの準定常熱伝導場の解析解の未定係数を、カーフ上に配置した選点における温度・熱流束と熱境界条件との残差が最小になるよう決定し、プラズマ切断中に被切断材に与えられた熱量を評価した。解析は、切断カーフ前縁の S1 境界で温度一定 (融点) 条件、トーチ後方の S3 境界で断熱条件を与え、S1 と S3 の中間領域 (S2 境界) では温度・熱流束とも不定として実施された。本研究では、この手法にならって燃焼入熱の評価を試みた。

Matsuyama et al.(1991)の解析は 2 次元熱伝導のみを対象に行われ、予熱ガスからの熱伝達は考慮できない。また、熱物性の温度依存性を無視して導かれた解析解を基礎としているので、鋼材温度が室温から融点まで大きく変化する場合は計算精度は不十分であると考えられる。よって、本研究では、Matsuyama et al.(1991)の手法を 3 次元熱伝導場と熱物性の温度依存性が考慮できるよう拡張した。これらの拡張は、移動熱源周り熱伝導場を 3 次元熱伝導有限要素解析により計算することで実施した。

移動熱源問題の熱伝導有限要素解析の研究の多くでは、被切断材に固定した座標系を用いて移動熱源周りの過渡熱伝導解析が行われている。この方法で熱溶断現象を解析する場合、カーフ前縁の被切断材の溶融を要素デス (消滅) で表現する必要がある。松山らによれば、カーフ上熱伝導場はカーフ前縁形状に敏感に依存するので、各時間ステップにおけるカーフ前縁を忠実にモデル化する必要がある。この要請を満足させるためには、高度のスキルと多大なモデル作成工数が必要となり、カーフ上熱伝導場データの抽出に工数を有するなど解析に困難が伴う。

この問題の解決方法として、移動する切断トーチに固定した座標を用いて過渡温度場を計算することが考えられる。以下で、被切断材に固定した、切断線方向に x 座標、被切断材の幅方向に y 座標、板厚方向に z 座標をとり、この座標で表したトーチ速度ベクトルを (u, v, w) とおく。トーチ位置の更新を行わず、次時刻 $t_1 = t_0 + \Delta t$ での位置 (x, y, z) における初期温度として、時間増分終了時の位置 $(x - u\Delta t, y - v\Delta t, z - w\Delta t)$ における温度を与えれば、上記の移動座標を用いた解析を実現できる。この方法で有限寸法の被切断材を解析する場合、トーチ前方のモデル端で現時刻以前は解析対象でなかった領域がモデル内に現れるとともに、トーチ後方でモデルを延伸する必要が生じる。この問題は、トーチより一定距離以上離れた前方の温度に室温を与えること、および解析モデルを計算完了時のモデル終端まで作成し、各時間増分中に新たに計算

対象に加わった要素をバース（温度に室温を与え、熱伝導率に有効値を与える）することで解決した。温度場の補間は、有限要素の形状関数を用いて行った。

切断カーブ上の被切断材温度分布は、第 1 近似として Matsuyama et al. (1991) の手法で計算した移動熱源まわり 2 次元準定常温度場を与え、これを予熱ガス火炎からの熱伝達で生じる板厚方向温度勾配と整合性がとれるよう反復修正して決定した。切断カーブ前縁温度は鋼材の融点（1800K）とした。Matsuyama et al. (1991) の手法による計算では、Moore-Penrose 一般化逆行列を用いて解析解の未定係数を決定した。開発手法の有効性は、ガス切断試験中の被切断材熱サイクルと切断カーブに形成される熱影響部（HAZ）寸法を数値計算で推定した結果を、実験結果と比較して検証した。そして、予熱ガスとして H₂/LP ガスと LPG を用いたガス切断試験を対象に、開発手法によって、切断カーブ前方の加熱面温度分布を計算するとともに、予熱ガス炎からの伝熱と被切断材の固体燃焼による入熱の、総入熱量に対する寄与率を計算し、予熱ガス火炎の伝熱特性と切断性能の関係を論じた。

その結果、以下の知見を得た。

(1) トーチ中心に原点を固定した移動座標系を用いて切断カーブ周囲の熱伝導場を計算できる 3 次元有限要素熱伝導解析コード MOVEFLUX を開発した。開発コードにより移動座標系を用いて高周波線状加熱の熱サイクルを計算した結果は、空間固定座標を使用した解析結果と完全に一致した。

(2) Matsuyama et al. (1991) の 2 次元解析解に基づく手法で推定したカーブ上温度分布を、3 次元数値解析結果を利用して修正することにより、カーブ前縁・カーブ後方側面の熱的条件を近似的に満足しつつ、予熱伝熱による板厚方向温度勾配とも整合性がとれた熱伝導場を得ることが可能なことを示した。

(3) 薄板円盤の点加熱試験を実施して、切断用に調整した H₂/LP ガスおよび LPG 予熱ガス炎の局所熱伝達率および板直上ガス温度の分布を同定した。H₂/LP ガスの燃焼ガス火口直下の局所熱伝達率は LPG より大きかった。同定した伝熱パラメータを用いて計算した点加熱試験中の鋼板熱サイクルは、実験結果に良く一致した。本研究の実験条件では、切断予熱火炎の燃焼条件はピアシング予熱火炎の条件とほぼ同一で、同定した伝熱パラメータも 4.1 節のピアシング予熱火炎の同定結果とほぼ一致していた。

(4) H₂/LP ガスおよび LPG を予熱ガスに用いて、長さ 500mm、幅 300mm、板厚 12mm の軟鋼（SS400）黒皮材のガス切断試験を実施した。その結果、同じ板厚で比較すると H₂/LP ガスの最高切断速度（550mm/min.）

は LPG の最高切断速度（400mm/min.）より大きくなった。本研究の実験条件では、切断速度が同一の場合は、加熱線中央から 20mm 以上離れると予熱ガスの違いによらず熱サイクルはほとんど同一になった。最高切断速度での熱サイクルを比較すると、切断速度が大きい H₂/LP ガス使用時の鋼板最高到達温度が LPG より大幅に低くなっていた。その温度差は、計測点の中では、切断線に最も近い位置（加熱線から 20mm の位置）で最大になり 70K 以上になった。本研究の実験条件では、予熱ガス種、切断速度によらずカーブ幅は約 3.0mm で一定とみなせ、前縁は半円形状で近似できた。切断後にカーブ周辺のマクロ断面観察を実施した。以下で、マクロ断面観察結果から決定した、カーブ面から HAZ 外縁までの距離を HAZ 寸法とよぶ。加熱面および板厚中央面での HAZ 寸法を調べると、切断線から 20mm 以上離れた領域で熱サイクルに有意差が表れていない場合でも、HAZ 寸法には相当程度の差が生じている。切断速度 V が同じ場合、加熱面では H₂/LP ガスの方が LPG より HAZ 寸法が大きく、板厚中央面では大小関係が逆になる。最高切断速度（H₂/LP ガスで V=550mm/min.、LPG で V=400mm/min.）どうして HAZ 寸法を比較すると、表面、板厚中央面とも LPG の寸法が H₂/LP ガスより大きい傾向があった。これらの結果は、切断カーブから HAZ 寸法と同程度までの距離の範囲では、予熱ガスの伝熱特性の相違が、被切断材の温度履歴に大きな差を生じさせていることを示している。

(5) (3) で同定した予熱ガス炎伝熱パラメータを用いて、(2) で開発した手法によりガス切断試験中の被切断材熱サイクルおよび熱影響部寸法を計算した結果は、実験結果と良好な対応を示した。この結果は、本研究で開発した修正カーブ温度決定法と、移動する切断トーチに固定した座標を用いて過渡温度場を計算する手法を用いれば、切断線から 20mm 以上離れた点のみならず、カーブ側面から 2~3mm 以内の高温域においても、板厚方向の温度勾配も含めて熱サイクルを精度良く評価できることを示している。

(6) H₂/LP ガス、LPG で切断速度が等しい低速切断では、予熱ガス種によらず幅方向の温度分布はほぼ等しいが、カーブ前方の温度を比較すると H₂/LP ガスの方が LPG より遠方まで高温域が広がっていた。一方、最高切断速度どうしを比較すると、高温域の幅方向寸法は、速度が低い LPG の方が、速度が高い H₂/LP ガスより大きく、カーブ前方の高温域寸法は 2 つの予熱ガスでほぼ同一で、発火点（1,200K）より高温の領域の切断線方向寸法が約 1.0mm になっていた。以上の結果より、本研究の解析条件では、発火点より高温の領域のトーチ進行方向寸法が 1mm 以上

になることが切断継続の条件であるとの仮説が導かれる。この仮説によれば、H2/LP ガスの最高切断速度が LPG より速くなった理由は、H2/LP ガス火炎の局所熱伝達率が LPG に比較して大きいため、切断速度が上昇しても、カーブ前方温度を切断継続が可能な状態に維持できたことにあったと考えることができる。以上により、予熱ガスの熱伝達特性から最高切断速度を推定する手法を提案することができた。これは、予熱ガスの伝熱特性の相違が切断性能に与える影響を定量的に評価できる可能性が初めて示されたことを意味する。

(7) 本研究で開発した解析手法によれば、切断中の被切断材加熱面温度の時間空間変化を計算できる。また、加熱面上の任意位置で、熱伝達の外部温度（板直上ガス温度）および局所熱伝達率を評価できる。これらより、任意時刻で予熱ガス炎からの熱伝達で生じる加熱面上熱流束の分布が計算でき、これを板面上で積分すると予熱ガス炎からの入熱量を計算できる。以下で、このように評価した入熱量を予熱入熱量 q_G とよぶ。一方、本研究の3次元有限要素解析でカーブ面に規定温度を与えた領域で、カーブ面法線方向の温度勾配を計算し、これに熱伝導率を乗じれば、カーブ前縁上の任意位置で被切断材に流入した熱流束を評価できる。これを積分したものは、被切断材の固体燃焼由来の入熱量であると解釈できる。以下で、このように評価した入熱量を燃焼入熱量 q_T とよぶ。本研究で解析した各切断条件に対して、上記の方法で評価した q_G と q_T の値を比較した。 q_G , q_T は、単位時間（1 sec.）当りの入熱量と、切断線単位長さ（mm）当たり換算した入熱量の双方を評価した。寺崎ら(2009)は、各種の LPG ガス切断条件について、線状加熱試験で同定した予熱ガス炎の熱流束分布（分布が時間で不変と近似）と、切断試験における平均温度上昇から、切断線単位長さ当りの q_G および q_T を実験的に求めた。

寺崎らが使用した実験装置およびガス条件は本研究の条件と異なるため直接の比較はできないが、本研究の LPG 切断条件に類似の条件で比較すると、計算結果の q_G および q_T は寺崎らの実験結果に概ね対応していた。これらより、以下が判った。

a) 本研究の解析条件では、ガス切断中に被切断材に投入される入熱の約 60%は、 q_G であり、 q_T は全体の約 40%程度である

b) 同じ予熱ガスで切断速度 V を変えた場合を比較すると、 V が小さいほど q_G の比率が大きい傾向がみられる。また、 V が同じで予熱ガスが異なる場合を比較すると、H2/LP ガスの方が LPG より q_G の比率が僅かに大きい。

c) 同じ予熱ガスで切断速度を変えた場合を比較すると、H2/LP ガス、LPG とも、単位

時間当り q_T は速度につれて僅かに増大するが、単位長さ時間当りで評価すると q_T は切断速度につれて減少する。

d) 同じ予熱ガスで切断速度を変えた場合を比較すると、H2/LP ガス、LPG とも、単位時間当り q_G は概ね等しい。このため、単位長さ当り q_G は、 V に概ね反比例する。

e) 切断速度によらず、H2/LP ガスの単位時間当り q_G は LPG より僅かに大きい。

(8) 切断時の切断歪（熱変形量）は、最大切断速度での単位長さ当り総入熱量（単位長さ当り q_G と q_T の和）に強く依存すると考えられる。最大切断速度どうしで比較すると、H2/LP ガスの総入熱量は LPG より約 20%小さい。宮崎ら(2009)は、H2/LP ガス切断の切断歪が予熱に石化ガスを使用した場合より大幅に小さくなると報告しているが、その原因は、上記の最大切断速度時の総熱量の差にあると推定される。前述の解析結果によれば、単位長さ当り燃焼入熱量 q_T にはガス種による大きな差はなく、 q_A の差は主として予熱入熱 q_G により生じる。また、同一速度であれば、H2/LP ガスの q_G は LPG より 2~3%大きい。しかし、H2/LP ガスはトーチ直下局所熱伝達率が LPG より大きいため、LPG の最大切断速度より約 38%速い速度でもカーブ前方で切断維持条件を維持できる。このため、単位時間あたり q_G が僅かに大きいことが、最大切断速度が 38%大きいことで相殺され、結果として最大切断速度における単位長さ当り q_G は H2/LP ガスの方が約 30%小さくなる。以上より、H2/LP ガス切断の単位長さ当り入熱量が LPG より小さく、切断変形が小さくなる理由は、主として H2/LP ガス火炎の局所熱伝達率が LPG 火炎より大きいことが主な原因であったと考えることができる。本研究で得られた知見によれば、H2/LP ガスによる切断性能の向上（最高切断温度の増大および熱変形量の低減）は、ともに予熱ガス火炎の局所熱伝達率が大きいことが主たる原因になっていたと推定される。水素ガス切断のさらなる性能向上を目指すには、水素ガス用切断火口の改良等により予熱火炎の局所熱伝達率のさらなる増大を図ることが有効であると考えられる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 4 件）

1) 大沢 直樹, 澤村 淳司, 池上 祐一, 岡本尚也, "酸素ガス切断におけるピアシング予熱中の入熱に関する研究", 溶接学会論文集, 査読あり, Vol. 28, No.4 (2010) pp. 427-435.

2) N. Osawa, J. Sawamura, N. Okamoto, K. Yamaguchi "Study on Numerical

Computation Technique for Quasi-Stable Heat Conduction Field Around a Kerf of Oxygen-Fuel Cutting", Proc. 25th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, アブストラクト査読あり(2011) pp.76-82.

3) N. Osawa, J. Sawamura, Y. Ikegami and N. Okamoto, "STUDY OF HEAT TRANSFER DURING PIERCING PROCESS OF OXYFUEL GAS CUTTING", Welding in the World, 査読あり, March/April (2012), in pres.

4) N. Osawa, J. Sawamura, Y. Ikegami, K. Yamaguchi, "Study on the relation between heat transfer property of the preheating gas and the performance of oxy-fuel gas cutting", Proc. 26th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, アブストラクト査読あり(2012) pp.417-422.

〔学会発表〕(計 3 件)

1) Naoki Osawa, "Study of Heat Transfer during Piercing Process of Oxy-fuel Cutting", International Institute of Welding 2010 Annual Assembly, 2010.

2) N. Osawa, J. Sawamura., N. Okamoto., K. Yamaguchi "Study on Numerical Computation Technique for Quasi-Stable Heat Conduction Field Around a Kerf of Oxygen-Fuel Cutting", Proc. 25th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, 2011.

3) N. Osawa, J. Sawamura, Y. Ikegami, K. Yamaguchi, "Study on the relation between heat transfer property of the preheating gas and the performance of oxy-fuel gas cutting", Proc. 26th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, 2012.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

大沢 直樹 (OHSAWA NAOKI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90252585

(2)研究分担者

澤村 淳司 (SAWAMURA JUNJI)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：90359670