

最終処分場を安全に利用するための観測井ガスモニタリング

田中宏和・山崎慶子・中村大充

Monitoring of Gas Concentration in Wells to Confirm Safety at a Industrial Controlled Landfill

Hirokazu TANAKA, Keiko YAMAZAKI, Masamitsu NAKAMURA

最終処分場の跡地を安全に有効活用する上で、安定化に伴うガスの発生状態を把握することが重要である。しかし、最終処分場全体のガスフラックス調査には多大な費用と労力を要する。そこで、埋立地の観測井に蓋を被せて密閉し、内部に滞留するガス濃度を携帯型ガス濃度測定機でモニタリングする方法の有効性を検証した。その結果、観測井内滞留ガス濃度は、保有水水位の変動や水温の影響を受けることが判明した。また、本方法により埋立地内部で発生する微量のガスを容易に検知できることが確認された。

埋立廃棄物組成を図1に、深さと埋立時期を表1に示した。

1. はじめに

一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令（昭和52年3月14日総理府・厚生省令第1号）の中で、管理型最終処分場からの発生ガスは、保有水水質や温度とともに廃止基準として採用されており、安定化を判断するための重要な指標である。また、処分場跡地を利用する場合、埋立地内部から発生する有機物分解由来の二酸化炭素やメタンは、酸欠や爆発事故等の原因となる可能性がある。そのため、処分場の適正かつ安全な管理のためには、埋立地のガス発生状態を把握することが重要である。しかし、埋立地全体を対象としたチャンバー法等による調査は多大な費用、労力および時間を要する。さらに、低濃度ガス分析は実験室レベルの高感度分析機器が必要であり、処分場管理者が日常的に行うモニタリング手法としては採用しにくい。そこで、本稿では蓋（キャップ）をした観測井管内に滞留するガスを携帯型ガス濃度測定機で直接測定する方法により、発生ガスのモニタリングを試みた。そして、得られた結果について、保有水水位や水温、埋立開始からの経過期間との関係性を評価した。

2. 処分場情報と調査方法

2.1 試験対象処分場埋立地の概要

調査を実施した管理型最終処分場は、北陸地方の海岸に近い平坦地にある掘り込み式の処分場で、埋立時期が異なる全6区画の埋立地が隣接している。それぞれの区画の、

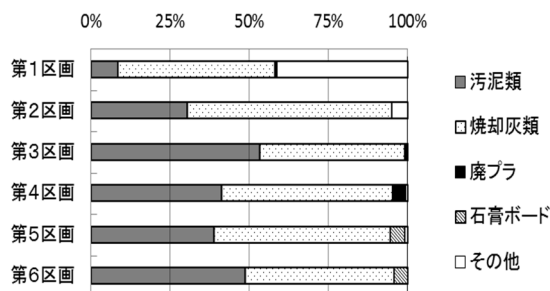


図1 埋立廃棄物の重量組成

2.2 観測井の構造等

観測井は、2009年12月に実施したボーリング調査の削孔を利用し、第1～5区画に設置した。ボーリングの掘削径は116mmとし、そこに内径65mmの耐熱性硬質ポリ塩化ビニル管を入れ、その周囲に井底から深度1mまでは3号硅砂を、その上部から地表まではベントナイトペレットを充填した。

観測井の構造を図2に示す。地表は井戸の周囲0.5m四方をセメンチングした。塩化ビニル管については、底部から深度1mまでは開孔率10%の有孔管を用い、その周りに60メッシュのポリ塩化ビニリデン製ネットを二重に巻き付けてスクリーンとした。深度1mから地上1mの立ち上がり部は無孔管とし、底部と最上部にはキャップを取り付けた。観測井の深さは第1区画が3m、それ以外の区画は5mとした。最上部のキャップにはシリコンチューブを取り付け、ピンチコックの開閉により、キャップを開放せずに観測井内の滞留ガスを採取できる構造とした。測定時以外は観測井内部に大気が入らないように管理した。

2.3 観測井滞留ガス濃度・放出ガス量および水位・水温の調査方法

観測井内滞留ガスは、シリコンチューブに携帯型ガス濃度測定機（Geotechnical Instruments 製 GA2000PSCO）を接続し、メタン、二酸化炭素および酸素を測定した。吸引速度は約0.4L/分とし、指示値が安定した約1分後の値を記録した。その後キャップを開け、観測井に延長管を設置し、観測井のガス流速と温度を微風速計（KANOMAX 製 CLIMOMASTER MODEL6533）で測定して放出ガス

表1 各埋立区画の容量と埋立時期

(2015年3月現在)					
区画	面積 (m ²)	容積 (m ³)	深さ (m)	埋立開始	埋立終了
第1区画	3,750	9,730	3.5	1982年12月	1988年3月
第2区画	3,750	13,275	6.0	1988年3月	1990年9月
第3区画	7,800	31,950	6.0	1990年9月	1995年5月
第4区画	7,800	31,950	6.0	1995年6月	2000年12月
第5区画	11,790	52,650	6.0	2001年1月	2009年5月
第6区画	11,790	52,650	6.0	2008年3月	—

量の計測を試みた。観測井の水位と水温はロープ式水位計（アルファ光学製 WL100TYPE3B）で測定した。水温は井底から約 0.3m 上部で測定した。これらの測定は毎月 1 回の頻度で行い、本稿では 2010 年 2 月から 2015 年 4 月までの結果について評価した。

3. 結果と考察

3. 1 観測井からのガス放出量と孔内温度

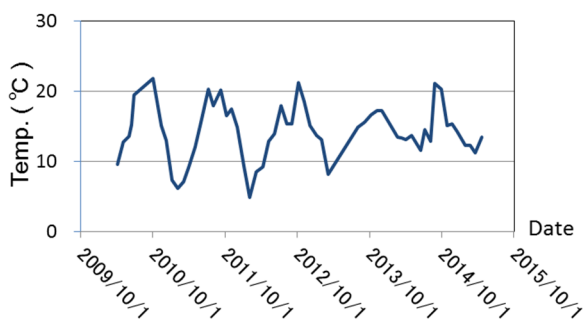
ガス抜き管の孔内ガス濃度の深度分布や温度は、有機物分解の状況や大気への侵入状況を反映していることが報告されている¹⁾。しかし本調査においては、観測井内部のガス流速を機器の測定可能下限値（0.05m/s）以上で計測できた調査日は僅かであり、最大でも 0.13m/s であった。このようにガス放出量が少ないことに加え、観測井内の滞留水水位が高かったため、大気の影響を受けやすく、ガス温度の計測ができなかった。

また、浸出水水温からも埋立地内部の発熱状態や安定化挙動を把握できることが報告されている²⁾。第 3 区画の観測井内の滞留水の温度変化を図 3 に示した。年により僅かな差はあるが、夏は高温に、冬は低温になる季節変動がみられた。このことは、調査対象処分場における発熱量が小さく、滞留水についても地上温度の影響を受けていることを示している。

3. 2 観測井内滞留ガス組成

観測井内に溜まった滞留水は、観測井周辺の保有水の状態を反映している。各区画の保有水水位と観測井内滞留ガス濃度を各区画別に図 4～8 に示した。測定した 3 種類の滞留ガス濃度は調査日によって増減し、連続的な濃度上昇や下降挙動はみられない。計測されたメタンの最高値は 90.9%、二酸化炭素は 19.0% であり、最低値はともに 0.0% であった。酸素は最高値が 21.9%、最低値が 0.4% であった。

第 1 区画から第 4 区画に関しては、メタンと二酸化炭素濃度が高くなると酸素濃度が低下した。水位測定等の調査時にはキャップを外すため、観測井内部は大気で置換される。しかし、観測井にキャップを被せて大気との接触ができない状態になると、埋立層の有機物分解由来のメタンや二酸化炭素が次第に観測井内に入り込み、次第に大気と置換して、酸素の分圧を低下させる。第 5 区画については、二酸化炭素濃度が低いいため、明確な関連性は確認できなかったが、メタンと酸素の間には他区画と同様な関係があっ



第3区画

図3 第3区画観測井戸内の滞留水水温の変化

た。これらのことから、第 1 区画から第 4 区画では好気性分解と嫌気性分解由来のガスが、第 5 区画では嫌気性分解由来のガスが観測井内に滞留しやすいことが示唆された。

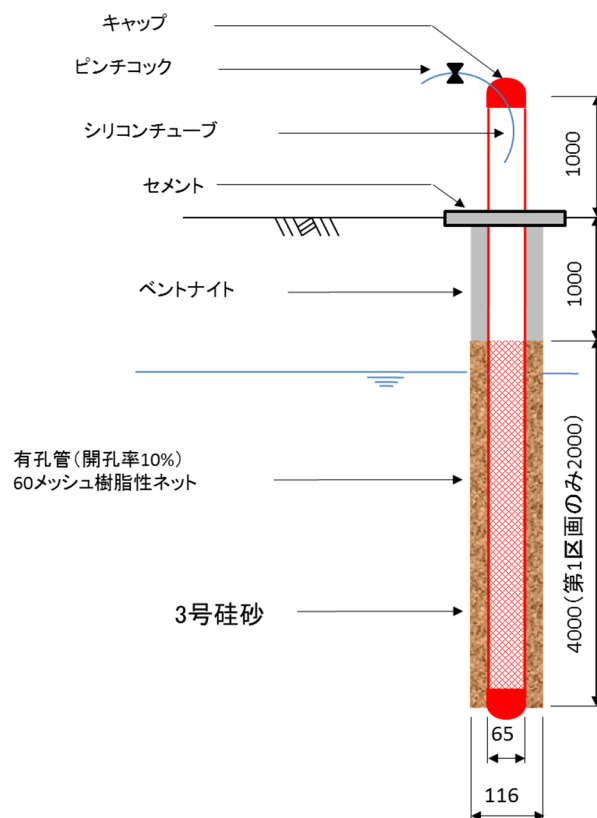


図2 観測井の構造

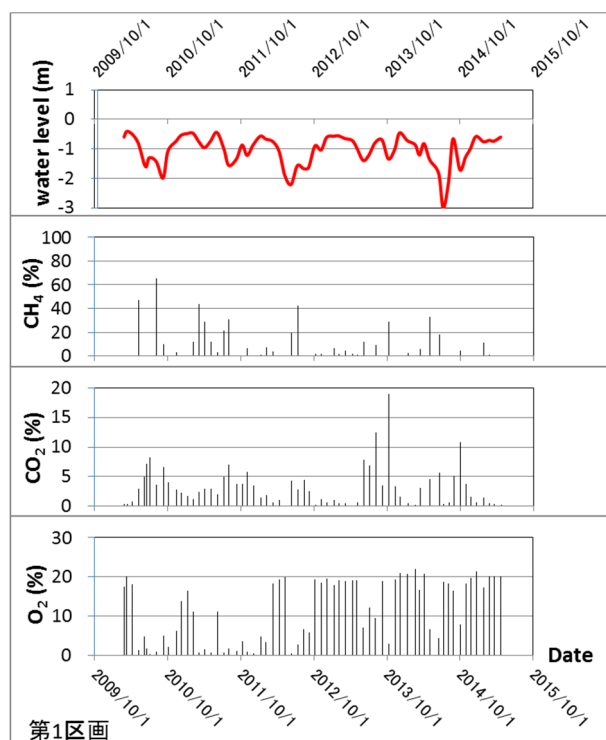


図4 第1区画の保有水水位と観測井滞留ガス濃度

3. 3 保有水水位とメタン濃度の関係

保有水水位が低いときに、メタン濃度が高くなる傾向がみられた(図4~8)。特に、第4区画の2013年3月から10月の期間と第5区画の2013年4月から10月の期間においては、一時的に集排水設備の排水量を増やして保有水水位を通常の運用範囲よりも低下させた。その期間のメタン濃度が顕著に高値を示していることが分かる。

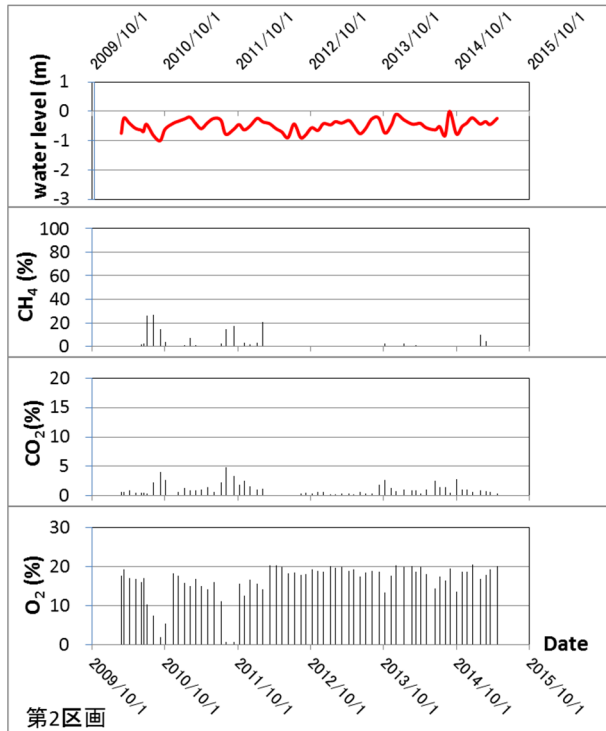


図5 第2区画の保有水水位と観測井滞留ガス濃度

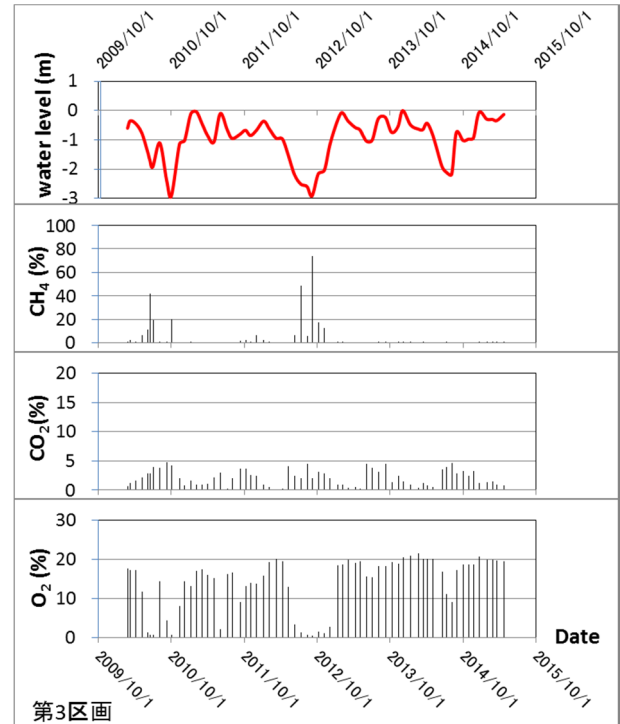


図6 第3区画の保有水水位と観測井滞留ガス濃度

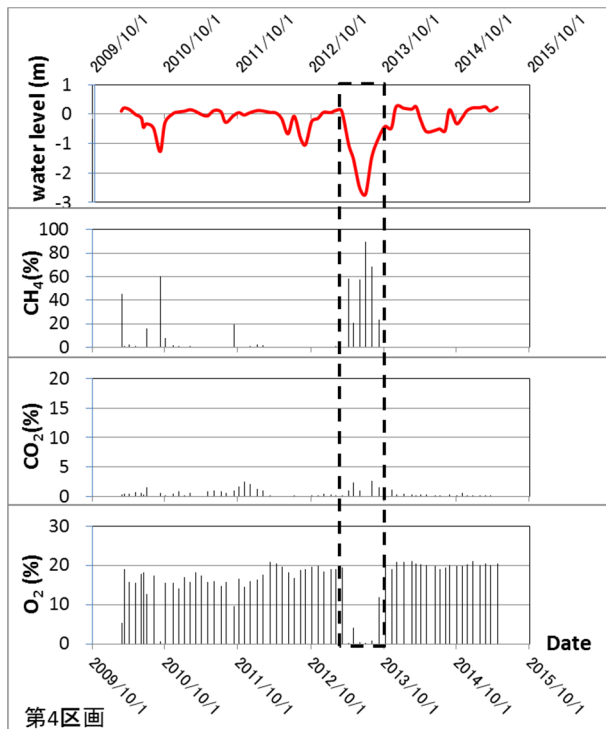


図7 第4区画の保有水水位と観測井滞留ガス濃度

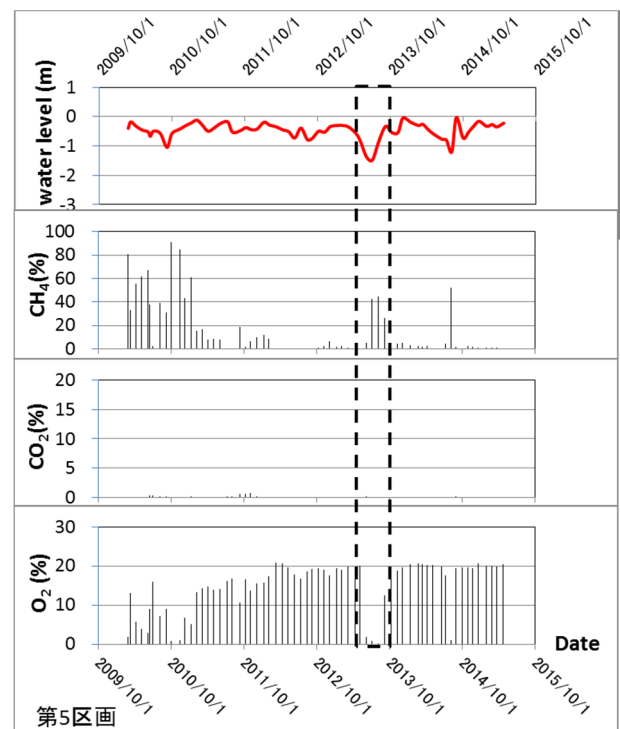


図8 第5区画の保有水水位と観測井滞留ガス濃度

第4区画について、メタンが検出された調査日のみを抽出し、保有水水位とメタン濃度の関係を図9に示した。また、直線近似して得られる決定係数を併せて記した。保有水の水位が低下すると、メタン濃度が上昇する関係がみられる。

湿原における調査事例において、地下水面下の気相率は10%程度であり、気泡中には高濃度のメタンを含有し、大

気圧低下により気泡が大気中へ放出されることが報告されている³⁾。湿原内の地層と同様に管理型最終処分場埋立層内にも多量の有機物が存在する。そのため、有機物分解で生じたガスの一部が気泡状で埋立物の間隙等に留まり、保有水水位が低下した際に留まっているガスが大気中に放出されるメカニズムが考えられた。このように考えると、メタンは保有水の長期的な水位低下に伴って排出されるため、地表面のガスフラックス調査での検知が難しい⁴⁾。しかし、本調査で用いた観測方法では、放出ガスが観測井戸内に貯留されて高濃度になるため、検知することが可能である。

3. 4 水温と二酸化炭素の関係

図4～7において、メタン濃度が低く、二酸化炭素濃度が高い調査日が複数みられる。また、第3区画における2011年以降の二酸化炭素濃度は、春から夏にかけて上昇し、秋から冬にかけて低下する変動パターンがみられた(図6)。

第3区画における観測井滞留水の水温と二酸化炭素濃度の関係を図10に示した。また、直線近似して得られる決定係数を併せて記した。水温上昇に伴い、二酸化炭素濃度が上昇する傾向がみられる。一方、同様な検討をメタンについても実施したが、相関は確認されなかった。

二酸化炭素はメタンに比べて水への溶解度が高く、保有水中に溶解しやすい特性がある。そのため、水温上昇に伴い溶解度が低下すると、保有水中に溶存可能な二酸化炭素量は減少し、気相中に放出される量が増加する。このように、メタンとは異なり、二酸化炭素には保有水の溶解度の変化に伴う大気放出メカニズムが存在する。

3. 5 経過期間が滞留ガス濃度に及ぼす影響

図4～8において埋立区画別に比較すると、メタンが第5区画に次いで第1区画で頻繁に検出されている。この原因は、保有水水位変動が激しいためである。また、二酸化炭素については、第5区画ではほとんど検出されず、経過期間の長い、古い区画において、検出頻度と濃度が高い傾向がみられる。これは、埋立層内部の雰囲気気嫌性が嫌気性から好気性に次第に移行することにより、有機物の好気性分解由来の二酸化炭素量が増加するためと考えられる。ただし、第3区画に比べて第2区画の二酸化炭素濃度が低い理由は、第2区画の保有水水位変動が他区画に比べて特に小さいためと推察された。

以上の結果から、観測井内滞留ガス濃度は埋立地の安定化状態を反映している。しかし、観測井内の滞留ガス濃度は保有水水位変動や水温の影響を受けるため、有機物分解の活性度や、大気への放出ガス組成を直接的に反映していない。筆者らと共同研究している国立環境研究所の調査結果によれば、地表面ガスフラックスが大きいのは第5区画の一部のみであり、全体的にはメタンフラックス比は小さく、好気性分解が優占して進行していることを確認している⁴⁾。第1区画から第4区画の観測井で検出されたメタンは、酸素が供給されにくい埋立層内で進行する嫌気性分解由来と推察されるが、実際の埋立層では最終覆土等でのメタン酸化反応により二酸化炭素に酸化される⁴⁾。しかしながら、埋立層内の安定化が最も進行している第1区画においてもメタンが発生していることは事実であり、このような情報は埋立地の安全性を確保するために重要な情報である。

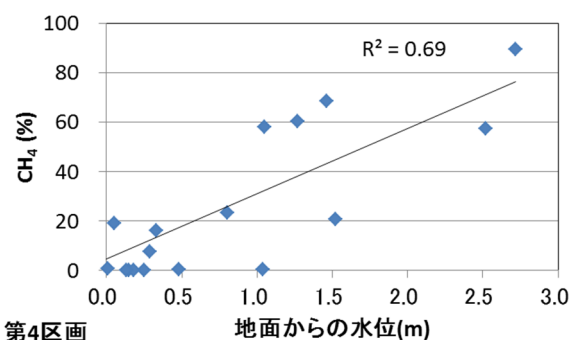


図9 第4区画観測井滞留水位とメタン濃度

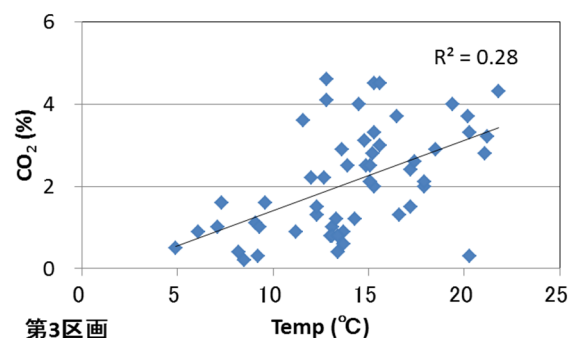


図10 第3区画観測井滞留水温と二酸化炭素濃度

4. まとめ

管理型最終処分場埋立地に設置した観測井内部に滞留するメタンと二酸化炭素濃度は、保有水水位低下時に高値を示した。その原因として、保有水に浸漬した埋立層内では有機物分解で発生したガスが気泡状で存在し、水位低下時に大気中に放出されるメカニズムが示唆された。また、二酸化炭素については保有水水温が高いと濃度が上昇する傾向がみられ、溶解度低下による放出メカニズムの存在が示唆された。

観測井内滞留ガスの種類や検出頻度は安定化による有機物の好気・嫌気性分解を反映するが、保有水水位変動や水温の影響を強く受ける。そのため、今回検討した方法は廃止基準のガス発生量評価に十分とはいえない。しかしながら、本手法は簡便であり、多くのデータを蓄積することにより安定化状態の概要を把握することが可能である。さらに微量の発生ガスを現場で検知できるため、処分場の安全性を確保するための手法として有効であると考えられる。

謝辞

本研究は、特別電源所在県科学技術振興事業「跡地利用された最終処分場における安定化に関する研究」の一環として実施した。調査に御協力いただきました関係者の方々に深謝します。

参考文献

1) 吉田英樹：準好気性廃棄物最終処分場に設置されたガス

抜き管内の温度・埋立ガス成分調査, 第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集,409～410(2015)

2) 柳瀬龍二,平田修,松藤康司,小山田謙二,石田眞滋: 浸出水の水温と水質を用いた埋立地の安定化の判定手法に関する研究, 廃棄物資源循環学会論文誌,**22**(5),298～305(2011)

3)常田岳志,宮崎毅,溝口勝: 泥炭地湿原におけるメタンバブルの存在,挙動とその役割,農業土木学会誌,**74**(7),595～598(2006)

4)佐藤昌宏,山田正人,石垣智基,遠藤和人,田中宏和: 埋立地における地中ガスのメタン比および地表面ガスフラックスの経年変化,廃棄物資源循環学会 平成 26 年春の研究発表会,P035(2014)

<http://jsmcwm.or.jp/wp-content/uploads/2013/02/P023-P044.pdf> (平成 28 年 4 月 26 日 閲覧)