

シンガポールの新たなエネルギー資源の開発

～ A Passage to GPG ～

シンガポール 資源エネルギー班

2年2組 5番 徳田智也

17番 緒方優香

18番 金丸紗来

27番 高島優奈

30番 中村巴渚

指導教員 今畑幹子

1. シンガポールについて

シンガポール共和国、通称シンガポールは、東南アジアの都市国家かつ島国である。また、マレー半島の南端、赤道の137 km北に位置している。面積約701.1 km²、人口約547万人の日本でいう東京23区とほぼ同じ面積である。現在、中華系74%、マレー系13%、インド系9%、その他4%(欧米人・フィリピン人・ミャンマー人・バングラデシュ人・日本人等)と様々な民族が居住しているため、中心部周辺ではリトルインディアやアラブストリート、チャイナタウンなど民族色豊かなエリアが数多く存在し、多様な文化に触れることができる。それとともに、公用語として中国語、マレー語、英語、タミール語の4語が使用されている。また、宗教でいうと、仏教、イスラム教、キリスト教、道教、ヒンズー教などが信仰されている。このことからシンガポールは、多言語・多民族・多文化国家であることが分かる。

シンガポールはスマトラ島東部で繁栄したシュリービジャヤ王国の一部として誕生し、マジャパヒト大国に属していた。14世紀末にはサンスクリット語でライオンの街を意味する「シンガプーラ」という名称が定着し、現在の「シンガポール」になったと言われている。1402年に建国されたマラッカ王国は1511年にポルトガルの進攻により滅亡したが、その後もオランダやイギリス、第二次世界大戦後には日本による占領など様々な国の支配下にあった。1965年8月9日に当時のリー・クアンユー首相によって独立が宣言されマレーシアから分離・独立し、現在のシンガポール共和国になった。

シンガポールの国旗に関して、赤い部分は普遍的親愛、国民の平等を、白い部分は満ちわたり、永遠な清澄、高潔を、月の部分は隆盛する若い国家、星の部分は民主、平和、進歩、平等、正義を示している。

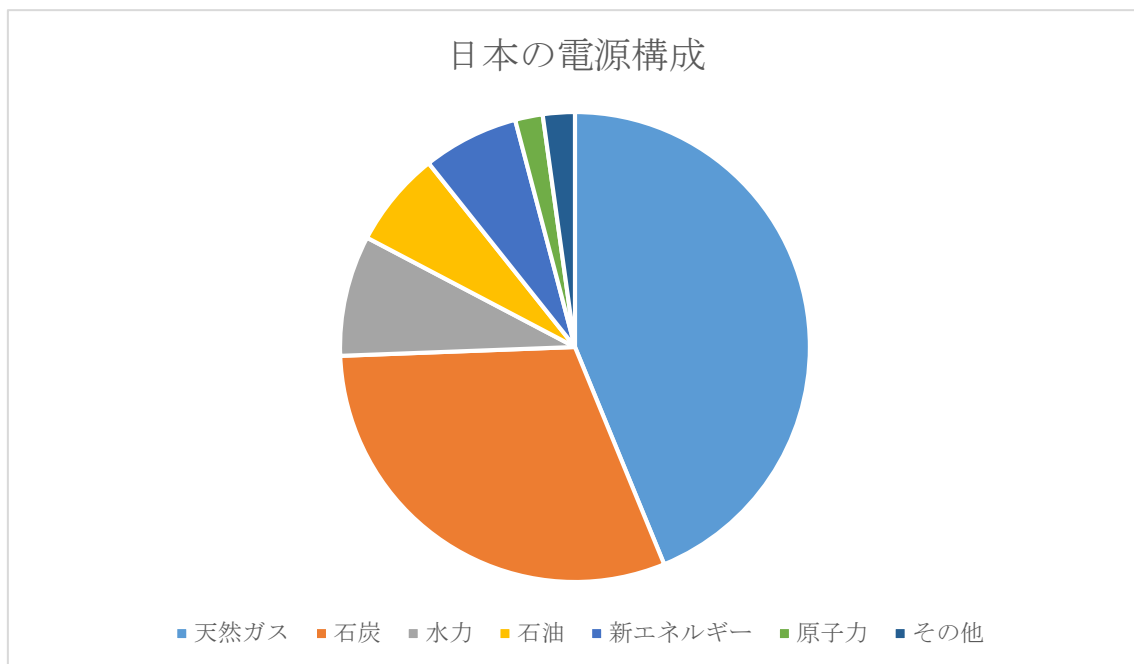
2. テーマ設定の理由

日本とシンガポールは同じ小さな島国でエネルギー資源を輸入に頼っている。日本は2011年3月11日に発生した東日本大震災の影響で福島第一原子力発電所の事故や風力発電の稼働が停止されたことで電気の発電が間に合わず、また、現在でも、一部原子力発電所が稼働していないため、エネルギー生産が十分に間に合っていない。さらに、シンガポールでも出生率の低下が問題視されているが、独立当初からの人口増加や海外からの居住者の増加が原因で今後エネルギー生産が間に合わなくなる可能性がある。そのため、両国のあるべき姿として、輸入に頼らず自らでエネルギー資源を生み出すことが求められるため、「シンガポールの新たなエネルギー資源の開発」というテーマを掲げて調査していく。

3. 現状・分析

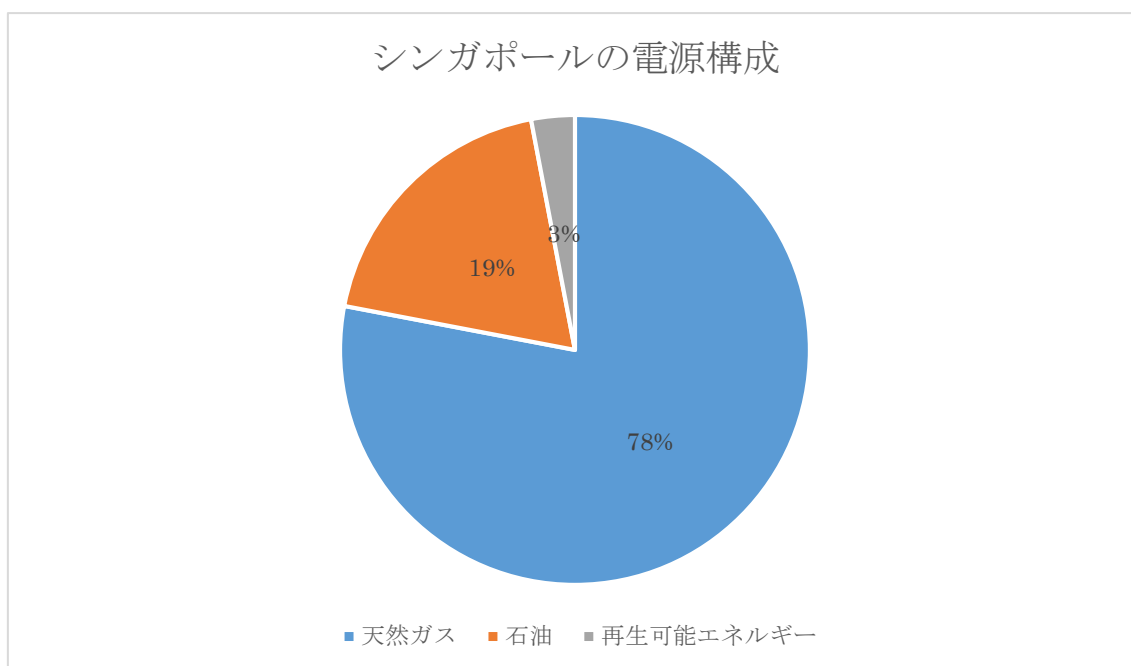
(1) 日本

日本の使用しているエネルギー資源の割合は、天然ガス 43.8%、石炭 30.6%、石油 6.6%、水力 8.3%、原子力 1.9%、新エネルギー 6.6%、その他 2.2%である。中でも天然ガス、炭、石油を主なエネルギー資源としており、その多くをイランやサウジアラビアからの輸入に頼っている。東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故以降日本のエネルギー情勢は一変し、電源として化石燃料に依存する割合が大きく上昇した。こうした燃料のほとんどは海上輸送されている。しかし、特に、原油の輸入量の大半が通過する中東、ソマリア沖、アデン湾や、マラッカ、シンガポール海峡など国際的に重要な海上輸送路においては、近年海賊事案の多発など、航行の安全確保が重要な課題となっている。



(2)シンガポール

シンガポールの使用しているエネルギー資源の割合は、天然ガス 78%、石油 19%、再生可能エネルギー3%である。この中でも特に天然ガスを主なエネルギー資源としており、その多くをマレーシアやインドネシアからの輸入に頼っている。現在は少子化の問題を抱えているものの、独立以降のシンガポールは都市開発、産業開発に取り組んだため、政府は都市部での住宅の不足、大規模な失業が続く中、死亡率低下と高い出生率による人口増加に悩まされた。そのため生活水準の向上という観点から、経済成長が人口増加と相殺されることが懸念され、人口増加の傾向を緩やかにするため、家族計画が打ち出された結果、女性の晩婚化および既婚女性の減少により人口増加は止まった。しかし、海外からの居住者により人口は増えつつあり、将来的にエネルギー生産が間に合わなくなる可能性がある。再生可能エネルギーや廃棄物発電の開発については重要視されているが、原子力の導入には否定的である。そのため、シンガポールでは現在輸入しているエネルギー資源で電力をまかなうため省エネルギー法が施行されている。この省エネルギー法は、①2030年までにエネルギー消費量を35%削減 ②企業によるエネルギー節約の促進、世界経済における競争力の強化 ③エネルギー効率改善に投資する企業に対する支援体制の確立 ④全ての部門{産業(製造業・農林水産業・鉱業・建設業)・民生(家庭部門・業務部門)・運輸}におけるエネルギー効率の改善基準を査定する協調的アプローチの確立などがあげられている。



(3)共通点

この2か国の共通点として挙げられるのは、天然ガスを最も多く利用しており、それらは他国からの輸入に依存していることである。また、両国とも自然災害や、人口増加など様々な影響によりエネルギー発電が間に合っていないことの2つがあげられる。つまり、

エネルギー資源を輸入に頼らなければエネルギーを生み出すことが難しいため、原子力に頼らず、自国で経済発展につながるようにエネルギー資源を生み出すことが求められる。

4. 目標

(1) 仮説・提案

私たちは”国内でエネルギー資源を得る方法として、廃棄物資源をエネルギーに変えることができるのではないか?”という仮説を立てた。廃棄物資源を選んだ理由として、廃棄物は毎日出るものであり、他国から輸入せずに利用でき、また、廃棄物の焼却や埋め立てにも多額な費用(1 キログラムの廃棄物を焼却・埋め立てをするのに約 2 万円かかり、2015 年のシンガポールの廃棄物排出量は 767 万トン(76 億 7 千万キログラム)で約 1534 億円)がかかるため、その費用を廃棄物発電の施設の維持費や受電設備・発電設備へ回せるのではないかと考えたからだ。そこで私たちは、廃棄物資源を利用する廃棄物発電(Garbage Power Generation)を提案する。廃棄物発電(GPG)は火力発電と原理は同じで、燃やした熱を利用して蒸気をつくり、タービンを回して発電する。現在日本での発電効率は、火力発電が約 55%なのに対し、廃棄物発電(GPG)は約 12%程度ととても低いのが現状である。

廃棄物発電(GPG)のメリットとして、焼却する廃棄物を燃焼するだけでなくエネルギーとして回収するため効率的であること、廃棄物自体を利用することで循環型社会の構築に貢献できることなどがあげられる。また、調査していくと、2015 年から三菱重工グループがハイフラックス社と共同で廃棄物焼却発電事業に参画していることがわかった。施設の完成・運転開始は 2019 年前半を予定としているため、その施設を私たちの提案している廃棄物発電に利用することができる可能性がある。

(2) 現在の廃棄物処理状況・リサイクル実施国との比較

現在のシンガポールの廃棄物処理の状況は、廃棄物を分別する習慣がなく、すべての廃棄物をすべて一緒にダストシュートに入れ回収している。廃棄物発電(GPG)を実行するためには、廃棄物の分別が最も重要となる。そこで、私たちはシンガポールとほぼ同じ人口であるデンマークとフィンランドの廃棄物処理方法について調査した。すると、どちらの国でもリサイクルと分別の徹底を図る対策が施されていた。デンマークでは、4R(Reduce:減らす・Reuse:再利用、使えるものを大切に最後まで有効活用する・Recycle:再生利用、コンポスト・Refuse:断る、スーパーマーケットのレジ袋などを断る)の意識を強調し、ペットボトルや空き缶、空き瓶の容器をスーパーマーケットに設置されている回収マシーンに入れてリサイクルすると換金される”Pant”というシステムがある。しかし、容器によって返金される金額は異なる。例として、1 番安い空き瓶は、日本円で約 18 円、1 リットルのペットボトルは約 55 円も返ってくることになる。このシステムは、デンマーク人のリサイクル意識を向上させるだけでなく、子どもたちにもリサイクルの習慣をつけることができるというメリットがある。フィンランドもデンマークと同様に、スーパーマーケットに専用ボックスがあり、

ペットボトルや空き缶などと換金できるシステムがある。シンガポールでは10年ほど前に自動販売機のようなマシンに空の容器を入れるとポケットティッシュなどと交換できる機械があったが普及しなかった。物ではなく直接お金が返ってくるのであれば、シンガポールでもそのシステムが機能する可能性がある。さらに、フィンランドでは **enevo** という会社の“**ONE**”というシステムがある。このシステムはゴミ箱のごみが満タンになるとゴミ箱に設置されているセンサーが反応し、トラックがゴミを回収しに来るというものである。このような様々なリサイクルを習慣付けるシステムがシンガポールでも実施されれば、大人や子どもに関係なく現地の人々全員にリサイクルの習慣が身につくのではないかと考えられる。

また、今でこそごみのポイ捨てなどに高い罰金を課して、法律で取り締まっていることでシンガポールの都市部ではきれいで清潔な街並みが維持できているものの、地方ではタバコの吸い殻やごみが路上に散乱し、都市部でも法律がなければごみが散乱している状況である。そのためごみの分別・リサイクル・4Rの意識を持たせる必要がある。

(3)緑化政策・廃棄物発電の一例

シンガポールでは熱帯の高温・多湿な気候を少しでも和らげ暮らしやすくすると同時に、狭い国土への海外投資の誘致と観光産業の育成に役立ち、国際的な競争力を高めるために緑化政策に力を入れている。この取り組みを進める方針として、①世界一の公園の形成 ②都市公園の活性化と景観保護 ③緑と余暇活動のための施設・空間づくり ④都市環境における生物の多様化 ⑤景観と園芸産業の強化 ⑥緑に溢れたシンガポールに向けた市民参加の促進の6つを掲げている。一例として、シンガポールの有名な観光地であるガーデンズ・バイ・ザ・ベイではこの政策に適している国内最大の廃棄物発電(GPG)が行われている。

民間で排出された間伐材や農業廃棄物、また落ち葉がこの施設内にあるバイオマス発電所に集められ、発電に利用されている。発電した電気はドーム内の空調設備や照明に使用されており、また、発電時に発生する温水は熱交換器に送られている。熱帯の空気を冷却・除湿してドーム内に冷気として送り出すのに使用しているのだ。さらに、発電した際に排出される燃え残りも刈り草と一緒に肥料として再利用している。このような合理的な循環システムによって豊かな緑が維持されるとともに二酸化炭素排出量の削減に効果をあげ、緑化政策に貢献しているのである。この施設が発電場所であり、また、電力消費場所でもあるため、このような緑化政策に特化した廃棄物発電所を国内に設置することができれば、シンガポールのエネルギー不足も改善されるはずだ。

5. 詳細計画

- ・シンガポールのごみ箱調査(地方と観光地やメインストリート)
- ・ガーデンズ・バイ・ザ・ベイ視察
- ・シンガポール日本人会館での中間発表(アドバイス・意見交換)

6. 検証結果

- ①現地のごみ事情
- ②分別・リサイクルに関する教育
- ③緑化政策
- ④廃棄物発電の際のダイオキシン

①現地のごみ事情

実際にシンガポールを訪れてみて、観光地と地方ではごみ箱の設置の仕方や人々の意識に違いがあることがわかった。観光地やメインストリートでは環境が整備されており、ごみ箱はプラスチック、カン・ビン、ペーパー、その他と大きく4種類に分けて設置されていた。綺麗に4種類に分けてごみを捨ててある場所もあったが、ごみ箱が4種類に分けられている（図1参照）にも関わらず、ごみを分別せずにまとめて捨ててある場所もあった。

一方、環境の整備が進んでいない地方では、ごみ箱が各種類に分けられておらず、すべて一緒に捨てられていること（図2参照）が分かった。



図1) 分別されたごみ箱



図2) 分別がないゴミ箱

シンガポール国内で、各種類に分けられたごみ箱が設置されているにも関わらず、きちんと分けて捨てる人と分けずにすべて一緒に捨てる人がいるというのは、民族間でごみの分別に対する意識の違いが生じているからだと考える。また、シンガポール国内ではごみをポイ捨てすると法律により罰金が課せられる。罰金を払いたくない、ポイ捨てをしなければ大丈夫だという現地の人々の気持ちから、分別せずただ単にごみをゴミ箱に捨てているのではないかと考える。

さらに、廃棄物処理の現状としては、日本で調べた通り、廃棄物を分別せず1つにまとめて廃棄物集積場に集められていた。各家庭・企業で出た廃棄物をそのまま集積場に集めるため可燃物・不燃物の分別が出来ていない。しかし、現在シンガポールではペットボトルは別で回収するという取り組みが普及し始めており、集積場でもスチール缶は磁石で取り除くなどの取り組みは施されているが、徹底されていないため完璧に分別はされていない。

②分別・リサイクルに関する教育

現地の人に調査した結果、シンガポール内の学校では分別・リサイクルに関する教育がされていないことがわかった。①の現地のごみ事情で述べた通り、シンガポールは多民族国家であり、民族間のごみに対する意識の違いがあるため、国レベルでのごみの分別・リサイクルについての教育が必要になる。民族間の違いはあっても、ごみの分別・リサイクルは学校での教育により人々の意識を高めることは可能である。

③緑化政策

現在のシンガポールでは、緑化政策が施行されている。内容としては、様々な植物の生育を行うことであり、この政策で町の気温が約2度下がったということや、WEF(世界経済フォーラム)とMIT(米マサチューセッツ工科大学)が共同でまとめた都市部での緑地の多さを示す「グリーンビュー指数(GVI)」でシンガポールは29.3%となり、世界主要17都市の中で最も高い水準となるなどの実績が挙げられている。ガーデンズ・バイ・ザ・ベイでは園内の落ち葉を廃棄物発電に回すという緑化政策に適した取り組みを行っている。ガーデンズ・バイ・ザ・ベイのように廃棄物発電(GPG)ではごみだけではなく、落ち葉でも発電できるため、私たちが提案している廃棄物発電(GPG)も、廃棄物だけではなく、植林した植物から出る落ち葉で発電できるのであれば、緑化政策に貢献することができるのではないかと考える。また、近年法律が施行されたことで、国民の意識や設備が変わりつつある。

④廃棄物発電の際のダイオキシン

廃棄物発電(GPG)を行うためには、まずごみの分別が必要になってくるが、ごみを分別したとしても課題として挙げられるのはダイオキシンの発生である。廃棄物焼却炉で廃棄物を完全燃焼させるためには800度以上で燃焼することが義務付けられている。それは、高温で燃焼を行えばダイオキシン類でも分解するからである。しかし、このような燃焼で発生したガスでも、冷却する過程においてデノボ合成という生成反応によってダイオキシン類が発生してしまう。デノボ合成は300~500度程度で進行するが、200度以下ではほとんど進行しないため、ダイオキシンを発生させないためには800度以上の高温で完全燃焼してできた燃焼ガスを短時間で200度以下にすることが求められる。また、廃棄物中の塩素の量を少なくすることもダイオキシンを抑えることに効果があるため、これらが廃棄物発電(GPG)を行う際の課題となる。(図3参照)

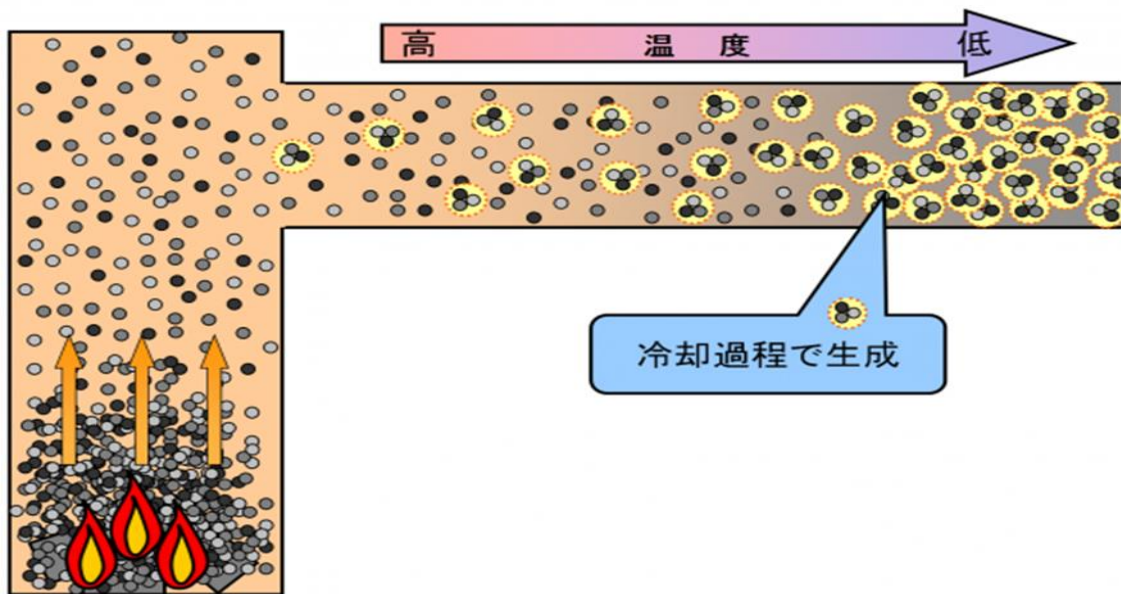


図3) 廃棄物発電によるダイオキシンの発生

7.未解決問題

廃棄物発電(GPG)を実施する場合に考えられる問題として

- ① シンガポール国民に廃棄物の分別・リサイクルが習慣化されるかわからない。
- ② ごみの分別・リサイクル、ごみを減らすことに関する教育をどのように行うか。
- ③ 廃棄物焼却施設に発電施設が備わっていないと発電が出来ない。
- ④ 落ち葉ではなく廃棄物を燃焼した際の冷却時に生じるデノボ合成への対処など
4つの課題が挙げられる。

8.まとめ

シンガポールはエネルギー資源を輸入に頼っているため、自国でエネルギー資源を生産しなければならない。そのため自国で自由に手に入る廃棄物を利用する廃棄物発電(GPG)を私たちは提案した。廃棄物発電(GPG)を実行するためには、まずシンガポール国内でごみの分別・リサイクルをしなければならない。現地で調査したように、ごみの分別・リサイクルは徹底されていない。これを国内全体に定着させるためには、民族間でのごみに対する意識を統一するため、各教育機関での指導や環境教室を開催し、人々に分別・リサイクルの重要性を理解してもらう必要がある。そうすることで国内に設置されている各種類に分けられたごみ箱に対してもすべて一緒に捨てることなく、きちんと人々が分別して捨てるようになることが期待できる。デンマークやフィンランドで施されているごみの分別・リサイクルへの工夫をシンガポールでも活用するべきである。ごみの分別・リサイクルが定着したうえで初めて廃棄物発電(GPG)に取り組むことができる。廃棄物発電はごみだけでなく落ち葉でも発電可能であるため、シンガポールで行われている緑化政策に適した発電方法であるといえる。

日本ではごみの分別・リサイクルが当たり前のように行われているため、廃棄物発電(GPG)を行う上で適度な環境にある。国土面積の約7割が森林面積である日本にとって、エネルギー資源を輸入に頼らずに電力を発電するにあたって、ごみだけでなく落ち葉も利用できる廃棄物発電(GPG)は適している。現在日本には、一般廃棄物焼却施設1162施設のうち、発電施設があるのが338施設と全体の29.0%である。これらの施設の促進・普及をすることで、今まで以上の電力を生むことが出来ると考えられる。ダイオキシンの発生については、デノボ合成を抑える方法が課題となる。しかし、現在、出雲エネルギーセンターで採用されているガス化溶融方式の炉を使用すると、ごみを熱分解し生成した可燃ガスとチャー(炭上の未燃物)をさらに高温で燃焼させ、その燃焼熱で灰分・不燃物などを溶融する技術により、ダイオキシンの発生を抑制することができる。そのためこの方式をどこの施設でも使用すれば、ダイオキシン類の発生を現在より抑制できる可能性がある。

このように、先ほど挙げた未解決問題や課題を克服することができれば、資源を輸入に頼らず、環境に優しいクリーンなエネルギーを生産することが可能であると考えられる。小さな島国であるシンガポールや日本でこれらがさらに普及すれば、世界のエネルギーモデル国となれるのではないかと考える。

【参考文献・引用文献】

- ・シンガポール共和国基礎データ 外務省
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/singapore/data.html>
- ・エネルギーノートブック 中国電力
www.energia.co.jp/pr/pamph/pdf/energynotebook.pdf
- ・平成27年度エネルギー需給緩和型インフラ・システム普及等促進事業調査報告者
www.meti.go.jp/medi_lib/report/2016fy/000313.pdf
- ・ごみ排出量の日本も見習いたい！「リサイクル4R」に力を入れる国デンマーク
<http://spotlight-media.jp/article/232155662064862137>
- ・「庭の中にある街」を目指して 大和ハウスグループ
http://www.daiwahouse.com/sustainable_journey/smartecotowns/002/
- ・シンガポール省エネルギー法の施行 国立国会図書館デジタル
dl.ndl.go.jp/view/prepDownload?itemId...contentNo=1
- ・日本のエネルギー外交 外務省
www.mofa.go.jp/mofaj/files/000036023.pdf
- ・Enevo Japan 株式会社 BODIK
www.bodik.jp/wp-content/uploads/20150928-IoT_InputSeminar1.pdf
- ・Enevo One
<http://thebridge.jp/2014/09/enevo>
- ・インフラ長寿命化計画 環境省
www.env.go.jp/other/infra/infra1.pdf
- ・緑化政策のヒントがここに シンガポール事務局
www.clair.or.jp/j/forum/c_mailmagazine/201210/1-4.pdf
- ・ガス化溶融 - 環境技術解説 | 環境展望台 : 国立環境研究所 環境情報メディア
<http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=70>
- ・出雲エネルギーセンター
www.city.izumo.shimane.jp/www/contents/.../index.html