

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06674

研究課題名(和文) CLM諸国の住宅部門における温室効果ガス削減手段の適用効果に関する研究

研究課題名(英文) Evaluating the Greenhouse Gas Mitigation Measures in the Residential Sector of Cambodia, Laos, Myanmar

研究代表者

福代 和宏 (Fukuyo, Kazuhiro)

山口大学・大学院技術経営研究科・教授

研究者番号：30346572

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ASEAN諸国の後発途上国、カンボジア、ラオス、ミャンマー(CLM諸国)の住宅部門のエネルギー消費実態を、社会経済調査データ、アンケート調査等によって明らかにした。これらの国々では経済成長に伴い、国民一人当たりの年間電力消費量が約30[kWh]/1000[International \$]のペースで上昇していること等を明らかにした。また、これらの国々において再生可能エネルギーを導入した場合の発電量及び二酸化炭素削減効果を検討した。カンボジアの場合、ゴム老木によるバイオマス発電の導入により石炭の使用を190～290万t削減し、CO2排出量を450～680万t減じる効果があることが見込まれる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

昨今、Joint Crediting Mechanism(JCM)の下、日本および発展途上国が共同で温室効果ガスの低減を図る取り組みが進められている。JCMの実施にあたっては、温室効果ガス排出削減手段を講じないBusiness-as-Usual(BAU)ケースの排出量と、削減手段を講じた場合の排出量との差を削減量として算出することが必要である。日本政府がJCM適用先として最も力を入れている地域はASEAN諸国であるが、これらの国々、とくにCLM諸国では削減量算出に必要なエネルギー消費量データが十分に整備されていない。本研究により住宅部門に関してはエネルギー消費の実態が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The energy consumption of the residential sector in the least developed countries of ASEAN members, Cambodia, Laos, and Myanmar (CLM countries), was clarified by socio-economic survey data and questionnaire surveys. In these countries, it was clarified that the annual electricity consumption per capita is increasing at a pace of about 30 [kWh] / 1000 [International \$] along with the economic growth. We also examined the amount of power generation and carbon dioxide reduction effect when renewable energy is introduced in these countries. In the case of Cambodia, the introduction of biomass power generation using old rubber trees is expected to reduce the coal use by 1.9 to 2.9 million tons and CO2 emissions by 4.5 to 6.8 million tons.

研究分野：建築設備

キーワード：地球温暖化 エネルギー消費 電力消費量 住宅部門 カンボジア ラオス ミャンマー

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ここ十年來、Joint Crediting Mechanism (JCM)の下、日本および発展途上国が共同で温室効果ガスの低減を図ろうとする取り組みが進められている。JCMとは、途上国において省エネルギー/再生可能エネルギー技術等を普及することにより途上国の温室効果ガス排出量を削減し、削減分をクレジット化して我が国の削減目標達成に活用するという枠組みである。日本政府がJCM適用先として最も力を入れている地域はASEAN諸国であり、環境省JCM資金支援事業199件(2013~2021年度)のうち159件(80%)がASEAN諸国案件となっている。

JCMの実施にあたっては、温室効果ガス排出削減手段を講じないBusiness-at-Usual (BAU、現在趨勢。ベースラインとほぼ同義)ケースの排出量と、削減手段を講じた場合の排出量との差を削減量として算出することが必要である。しかし、この計算に必要なエネルギー消費量データはASEAN諸国においては十分に整備されていない。この状況はASEAN諸国の中でも後発途上国(LDC, Least Developed Countries)のカンボジア、ラオス、ミャンマー(CLM諸国)において著しい。本研究で着目しているCLM諸国の住宅部門のエネルギー消費に関しては、一部の国を対象に実測あるいは社会経済調査に基づく研究が始まったばかりである。

2. 研究の目的

CLM諸国における住宅部門のエネルギー消費実態を調査することが本研究の第1の目的である。そしてまた、これらの国々において省エネルギー/再生可能エネルギー技術等を普及させた場合、BAUケースに比べ、どの程度エネルギー消費量、温室効果ガス排出の削減を図ることができるかを予測・評価することが第2の目的である。

3. 研究の方法

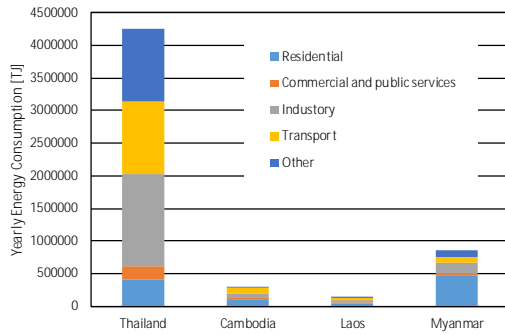
上記第1の研究目的を達成するため、国情によるデータ収集・調査の難易度を踏まえた上で、CLM諸国において社会経済調査データの収集、アンケート調査等を行い、世帯類型(居住地域・世帯規模・建築種別・世帯収入等)別のエネルギー消費量を明らかにすることとした。

また上記第2の研究目的を達成するため、研究開始当初はCLM諸国に赴き、現地の実情に応じた省エネルギー/再生可能エネルギー技術、いわば適正技術を検討・選定することとしていた。しかしながら、2020年以降は新型コロナウイルス感染症拡大に伴う渡航制限、さらにミャンマーに関しては2021年2月のクーデター発生による国情悪化が加わり、実質的に現地調査が不可能となった。

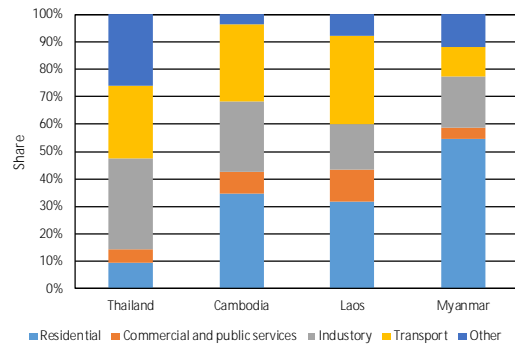
そこで、第2の研究目的に対しては、当初の研究計画の一部を変更し、実態調査に替えて(A)文献によるCLM諸国の省エネ/再エネプロジェクトの悉皆調査を行い、(B)現地にあるものと同様以上の省エネ/再エネ施設が普及した場合の省エネ効果、二酸化炭素排出量低減効果を検討することとした。そして、この際、(C)現地にあるものと同様以上の省エネ/再エネ施設を日本国内で準備し、(D)同施設の実稼働データと現地の設備諸元および気象データを組合せ、現地の省エネ/再エネ施設の仮想稼働シミュレーションを実施して、省エネ効果、二酸化炭素排出量低減効果を検討することとした。

4. 研究成果

(1) CLM諸国における住宅用エネルギー消費の概況



(a) エネルギー消費量 (単位 [TJ])



(b) エネルギー消費量部門別構成比

図1 CLM諸国およびタイの全部門エネルギー消費量 (IEAおよび国連による2019年統計値)

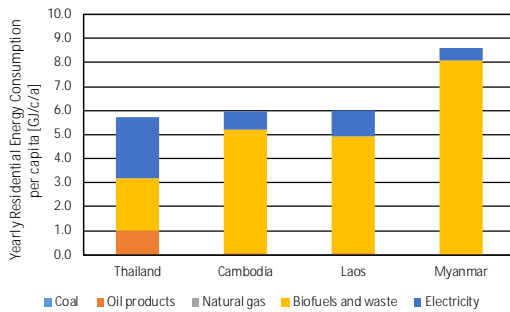


図2 住宅部門一人当たりエネルギー消費量

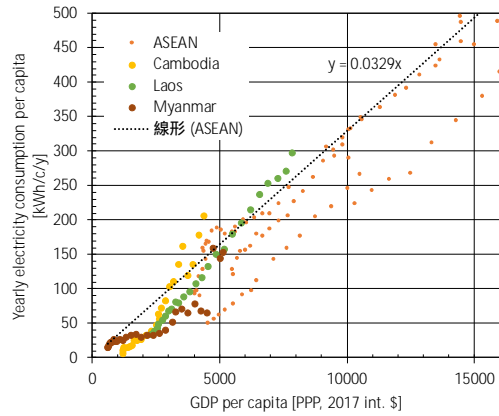


図3 実質GDPと電力消費量 (1990年以降)

図1にCLM諸国の全部門エネルギー消費量を、隣接する中進国タイと対比しながら示す。図1(a)に示すように、CLM諸国のエネルギー消費量は総量ではタイよりも遥かに小さい。図1(b)の部門別構成比を見ると、タイに比べCLM諸国では住宅部門のエネルギー消費量が相対的に大きい。図2に住宅部門の一人当たり年間エネルギー消費量 (2019年) を示す。タイに比べCLM諸国ではバイオマスが占める割合が大きいのが特徴である。電力消費量は相対的に少ないが、経年的には増加傾向にある。

文献において報告しているように、ASEAN諸国の電力消費量は経済成長と歩調を合わせて増加している。図3に示すように、1990年以降、ASEAN各国では実質GDPと電力消費量に強い相関が見られる。CLM諸国においても実質GDPが1,000ドル上昇するたびに一人当たりの年間電力消費量が約30kWh上昇するという傾向がみられる。

(2) カンボジアにおける住宅部門エネルギー消費の現状

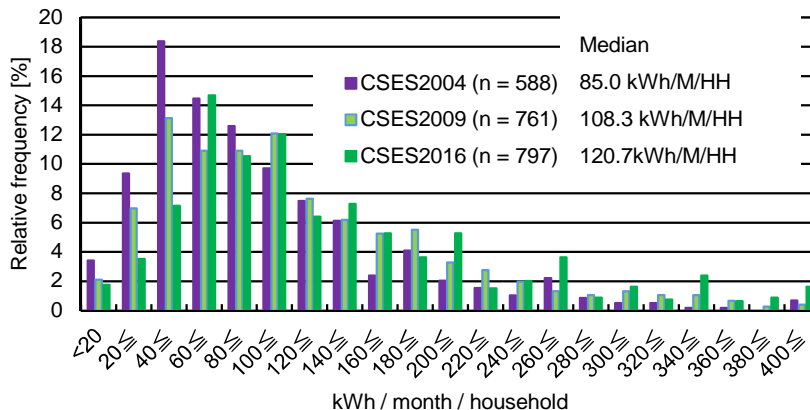


図4 プノンペン市の住宅部門一世帯当たり月間電力消費量

CLM諸国のうち、カンボジアおよびラオスの実状について本節と次節で説明する。

カンボジア統計局から入手した Cambodia Socio-Economic Survey (CSES) の元データを

用いて首都プノンペンにおける住宅部門電力消費量を算出した。2004, 2009, 2016年の一世帯当たり月別電力消費量のヒストグラムを図4に示す。いずれの年においても分布形は対数正規分布となっている。一世帯一月当たりの電力消費量の中央値を見ると、2004年の85.0 kWhから2016年の120.7 kWhへと、電力消費量が経年的に増加している。

増加の直接的な原因としては、経済成長に伴って家電品の普及が進んでいることが挙げられる。間接的な原因としては、住宅の建築素材が変化したことが挙げられる。暑熱環境に応じ、木や竹で作られた風通しの良い伝統的な建築物が減少し、コンクリートやレンガで作られた近代的な、しかし換気の良くない建築物が増加したことは、機械的な換気・冷房の必要性を増し、住宅の換気・空調エネルギーの増加に結びついていると考えられる。

このような電力消費量の増加に対し、発電施設の建設が進められているが、現状では水力発電所よりも石炭火力発電所の方が発電シェアが大きく（2017年の発電シェア：水力41%、石炭火力54%）、同国の温室効果ガス排出量増加の一因となっている。

(3) ラオスにおける住宅部門エネルギー消費の現状

ラオス統計局が公表しているLao Expenditure and Consumption Survey (LECS)等の資料を分析した結果、過去十数年間の間に同国では自動車、TV、冷蔵庫などの耐久消費財が急速に普及し、これに応じて電力消費が急増している（2011～2014年で40%増）ことが示された。

著者は同国住宅部門のうち、首都ヴィエンチャン都に住む高所得層を対象として、2014～2017年に住環境とエネルギー消費の調査を実施した。この調査結果を分析したところ、以下のような結果を得た。

電力消費量のヒストグラム（図5）については片側ヘヴィーテイルの分布系が見られる。例えば、2017年の調査結果に注目すると、300kWh以上400kWh未満をピークとして、右に広がる分布を示している。調査対象世帯のうち、月収4,000,000kip以上12,000,000kip未満の世帯を「高所得層」、月収12,000,000kip以上の世帯を「上位高所得層」とし、それぞれについて電力消費量の経年変化を見たのが図6である。上位高所得層の電力消費量の平均値は常に高所得層のそれを上回っており、明確な増加傾向が見られる。2017年に関して言えば、上位高所得層は1,160kWh/(世帯・月)を消費しており、日本の一般世帯の消費量の平均と同程度か上回る水準である。

ラオスの現状にもとづき、将来予測も実施した。現在の経済成長の状況を踏まえると、2025年にはラオスの一人あたりGDPは10,000ドルに達すると予測される。その際、ヴィエンチャン都高所得層・上位高所得層と同様の生活水準・エネルギー消費を行う世帯が全人口に占める割合は、2012～2013年の11.3%から2025年には26.5%へと倍以上に増加すると予測される。

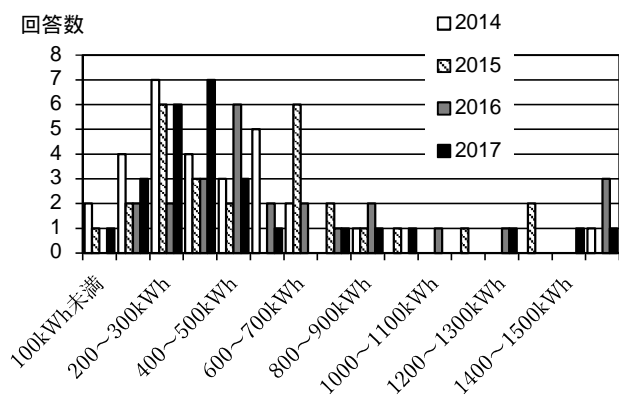


図5 一世帯一月あたり電力消費量のヒストグラム

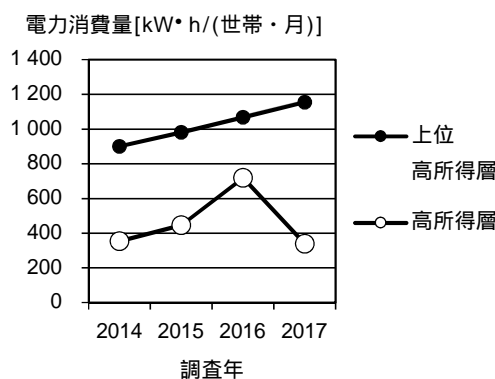


図6 世帯収入別の電力消費量平均値

ラオスは現在、電源をメコン川流域の水力発電に依存しており、電力の自給率が高い。しかしながら、上述の将来予測を踏まえると、水力発電では電力需要増に対応しきれないことが懸念される。そこで、バイオマスや太陽光発電など、再生可能エネルギーの普及が要請される。

(4) 再生可能エネルギーの活用効果

カンボジアに関しては天然ゴム老木のバイオマス発電への利用効果を検討した。天然ゴムは植林後25年経過すると樹液採取量が減少するため、それ以後は伐採・再植林をすることが望ましい。

カンボジアの天然ゴム植林面積は2020年時点で404,200ヘクタールに上る。平均的な面積当たりの植林本数を555本/ヘクタール、1本当たりの体積を2.8m³/本とし、25年経過した老木を伐採することとすると、 $404,200 \times 555 \times 2.8 / 25 = 2500$ 万m³/年のバイオマスが供給されることとなる。

木質バイオマスの総発熱量は樹種、含水率によって左右されるが、文献に基づき、含水率35～50%、エネルギー密度2～3GJ/m³とすれば、総発熱量50,000～75,000TJのエネルギーが得られる。一般炭の総発熱量(文献)は26.08 GJ/t、CO₂排出原単位は2.35 t-CO₂/tであるから、2500万m³/年の天然ゴム老木由来バイオマス利用は、石炭火力発電所で使用される石炭を190～290万t削減し、カンボジアのCO₂排出量を450～680万t減じる効果がある。

ラオスに関しては、太陽光発電施設の設備能力の拡充を検討した。現在、ワットタイ国際空港駐車場の屋根に太陽電池(定格出力236kW)を設置する計画が進められている(文献)。同施設では発電設備は系統連系しており、バッテリー(蓄電池)は使用されていない。

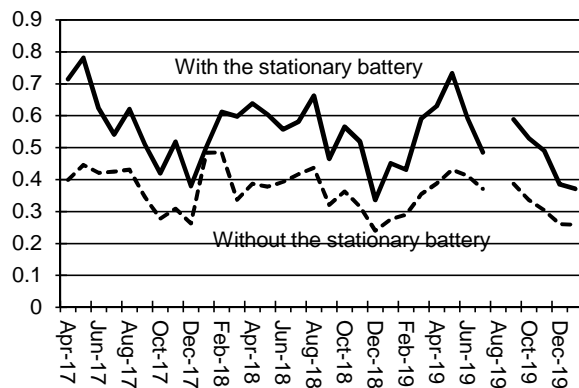


図7 太陽光発電・蓄電池連携施設の電力自給率

この現状に対し、太陽光発電に蓄電池を組み合わせた場合、施設の電力自立性/自律性、省エネ・二酸化炭素排出量低減効果が高まることが期待される。そこで、本補助金を用い、太陽光発電と蓄電池を組み合わせた施設(山口県美祢青陵高校大気測定局、太陽光発電の定格出力: 2.56kW, リチウムイオン電池容量: 9.6kWh, 日平均電力消費量0.5kWh)を整備し、同施設の稼働データを収集

した。2017～2020年の実測結果にもとづく同施設の電力自給率の計算結果を図7に示す。同施設は好天に恵まれる5月において同月の電力消費量の73～78%を自給することができることがわかった(もし同施設が蓄電池を備えない場合には余剰電力は買電され、自給率は43～44%に留まる)。この国内施設稼働データをもとに太陽光発電・蓄電池システムのシミュレーションモデルを構築し、ワットタイ国際空港の太陽光発電の設備諸元と同地の気象データを入力し、発電量および電力自給率を算出した。同施設の月間発電量は24,000 kWhに達することが期待される。同施設に1000kWhの蓄電池を連携すれば、最大で同施設の電力需要の7%を自給することができると予想される。

<引用文献> Kubota T, Rijal HB, Takaguchi H, Eds., Sustainable Houses and Living in the Hot-Humid Climate of Asia, 2018年, 305 - 311, IEA Bioenergy: Global Wood Pellet Industry and Trade Study, 2017年, 資源エネルギー庁「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数一覧表」, 2018年, JICA, ニュージェック「ラオス人民民主共和国太陽光を活用したクリーンエネルギー導入計画」, 2011年

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fukuyo K, Hirohata N	4. 巻 294
2. 論文標題 Comparative Study on Energy Consumption in the Asian Landlocked Countries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 012084 ~ 012084
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1755-1315/294/1/012084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 福代 和宏	4. 巻 43
2. 論文標題 ラオス高所得層の住環境とエネルギー消費	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 空気調和・衛生工学会 論文集	6. 最初と最後の頁 39 ~ 49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18948/shase.43.253_39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 廣畑 伸雄、福代 和宏	4. 巻 34
2. 論文標題 天然ゴム老木のバイオマス発電への利用可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MACRO REVIEW	6. 最初と最後の頁 16 ~ 19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11286/jmr.34.16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Kazuhiro Fukuyo
2. 発表標題 How Technology is Changing the Business Landscape to Face the Next Normal: Contactless but Connected Electrified but Sustainable
3. 学会等名 The 6th International Conference on Management in Emerging Markets (ICMEM) 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuhiro Fukuyo, Tadafumi Yano, Naotaka Motonaga, Takao Kijima
2. 発表標題 Photovoltaic systems with secondhand batteries of electric vehicles and their social implementation in times of COVID-19
3. 学会等名 The 6th International Conference on Management in Emerging Markets (ICMEM) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kauhiro Fukuyo
2. 発表標題 Trend of energy consumption of residential sector in Phnom Penh, Cambodia
3. 学会等名 The 11th International Symposium on Heating Ventilation and Air Conditioning, Harbin, China (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fukuyo K, Hirohata N
2. 発表標題 Overcoming Energy Poverty in Cambodia and Emerging Issues
3. 学会等名 The 19th Science Council of Asia Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuhiro Fukuyo
2. 発表標題 Southern China as a part of Southeast Asia
3. 学会等名 2018 International Workshop on Energy and IEQ in Chinese Residences (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiro Fukuyo
2. 発表標題 Correlation and Causality between Economic Growth and Energy Consumption in the Asian Landlocked Countries
3. 学会等名 The 18th Science Council of Asia Conference "Role of Science for Society: Strategies towards SDGs in Aisa" (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kubota T, Rijal HB, Takaguchi H, Eds.	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 559
3. 書名 Sustainable Houses and Living in the Hot-Humid Climate of Aisa	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Monsoon Project http://ds0.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~fukuyo/ASEANEnergy/
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------