

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

木質バイオマスエネルギーポテンシャルの 地域分布 (Vol.2)

ー不均一に分布する人工林の伐採作業のコストー

平成 31 年 2 月

Regional Distribution of Energy Potential of Wood Biomass (Vol.2):

Cost of Cutting in Artificial Forests Distributed Heterogeneously

Strategy for Technology Development

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2018-PP-11

概要

木質バイオマス生産の低コスト化を推進するためには、大面積の人工林に高性能林業機械を導入し、高い生産性で作業を行うことが必要である。LCS では、すでに人工林が一様に分布する条件のもとで、木質バイオマスの生産コストの低減化について計算している。しかし、実際には、人工林の分布パターンは不均一であるため、林業機械が林分間を移動するコストを考慮する必要がある。本稿では人工林の GIS データを用いて、広域にわたる主伐作業における移動コストを計算した。

静岡県天竜森林計画区において、人工林の分布が集中する地域では移動コストは木質バイオマス生産総コストの約 1%、人工林が分散する地域では 4%以内となった。移動コストが生産総コストに与える影響は小さく、低コストでの木質バイオマス生産の可能性があった。

Summary

In order to improve reduction of the cost of wood biomass production, it is essential to introduce high-performance forestry machinery into large-area artificial forests to achieve high productivity. The LCS has already calculated the reduced cost of wood biomass production in artificial forests with uniform distribution of trees. The distribution pattern of actual artificial forests are heterogeneous, and it is necessary to consider the cost of moving of machines between forest stands. We calculated the moving cost across regions for cutting operations using the GIS data of artificial forests in this paper.

In the Tenryu Forest Planning Zone in Shizuoka Prefecture, the moving costs were within 1% of the total production cost of wood biomass in areas where the distribution of artificial forests are concentrated, and 4% in the areas where artificial forests are dispersed. The effect of moving cost to total production cost is small and there was a possibility of wood biomass production at low cost.

目次

概要

1. はじめに	1
1.1 背景	1
1.2 主伐作業における移動コストの目標	1
2. 移動コストの計算	1
3. 計算結果	4
4. まとめ	6
5. 政策立案のための提案	6
参考文献	6

1. はじめに

1.1 背景

木質バイオマスはエネルギーおよび材料として重要な資源である。同時に木質バイオマスを生み出す森林は二酸化炭素の吸収源として重要な役割を果たす。低炭素社会の実現に向けて、森林と森林資源の持続的利用の検討は必須である。日本は戦後の拡大造林期の植林木が樹齢 50～70 年程度を迎え、木質バイオマス資源が豊富にある。しかし、木質バイオマス生産総コストが高いために、国内の資源は活用されていない。

木質バイオマスが生産されるまでには約 50 年の長い時間と、造林・下刈り・保育・間伐・主伐などの多くの作業が必要である。林業のコストを低減させるためには、大面積の人工林で集約的に経営することが必要であると同時に、個々の作業の低コスト化や集約の可能性の検討が必要である。

LCS では林業の持続的な経営と低コスト化を目指し、その手法を提案してきた[1][2]。緩斜面の 10,000ha 以上の人工林で 50 年伐期とし、高性能林業機械を導入して伐採作業効率 75 m³/人日の集約的な施業¹⁾を行うことで、コスト的に国際競争に耐えうる木質バイオマスを生産できる。このときの条件は、地域ごとの材積は一樣に分布するとした。集約的な林業を行うことができる 10,000ha 以上の人工林は日本各地に存在することを確認しているが[3]、地形や自然公園法等の利用の制約により、その分布は不連続である。また、林齢により面積当たりの蓄積量は異なる。

人工林の資源は時間的・空間的に不均一に分布する。そのことが林業作業の集約化に与える影響の把握は重要である。代表的な作業である主伐について、人工林の不均一な分布のもとでの集約化の可能性を検証する。

1.2 主伐作業における移動コストの目標

人工林が不連続に分布することにより、主伐の作業を集約化するとき、伐採と集材のコスト（本作業コスト）のほかに、主伐の対象となる林分²⁾間の林業機械の移動コストが必要である。移動コストは人件費と移動手段（大型トラック等）の費用、燃料費から構成される。

人工林の不均一な分布パターンは移動コストに影響を与える。木質バイオマス生産総コストは移動コストのほか、造林や伐採などにかかわる種々のパラメーターの影響を受けるが、ここでは移動コストがもたらす影響を検討する。そのために、人工林の GIS データを用いて、主伐対象の林分で作業したら次の作業対象林分に移動することを繰り返す想定シミュレーションを地図上で行い、現実的な精度で移動コストを計算する。移動コストの目標を、生産総コストの 10%以内とした。現実には様々な林齢の人工林が存在し、伐期に達した 51～70 年生の占める割合が大きい。51～60 年生人工林よりも 61～70 年生人工林のほうが面積当たりの材積が 16%多く[4]、主伐作業の生産性がこの範囲で変動する。材積の違いが生産総コストに与える影響に対して、移動コスト（固定費）の与える影響のほうが十分に下回るものとしてこの目標を設定した。

2. 移動コストの計算

静岡県天竜森林計画区は地形の変異が大きく、林業の盛んな地区を含み、人工林の GIS データである森林計画図[5]が整備され、森林簿[6]とともに公開されていることから、この地域を一つの事例とした。

¹⁾（森林）施業：目的とする森林を育成するために行う造林、保育、伐採等の一連の森林に対する人為的行為を実施すること。

²⁾ 林分：樹木の種類・樹齢・生育状態などがほぼ一樣で、隣接する森林とは明らかに区別がつく、ひとまとまりの森林。ここでは、森林を管理する区画の単位を意味する。

天竜森林計画区の緩斜面人工林を、移動を含む主伐作業のシミュレーションの対象として、移動コストを計算した。森林計画図と森林簿の情報を統合させてシミュレーションに用いた。天竜森林地区は7市1町（浜松市、磐田市、掛川市、菊川市、御前崎市、袋井市、湖西市、森町）からなる。計画区の最北部などに国有林があるが、国有林のほとんどは保安林に指定されており、生産林ではないため、対象から外した。民有林の傾斜25度以下の普通林³⁾のうち、スギまたはヒノキの育成単層林⁴⁾をここでは緩斜面人工林とした。

天竜森林計画区は海岸の海拔0m地帯から標高2,300mの山地帯まで標高の幅は大きく、海岸に近い部分は平野や丘陵地帯が多く、中間部には中山間地域が広がり、その奥に急峻で複雑な地形の山地帯がある。旧・天竜市、春野町、佐久間町、水窪町、龍山村（いずれも現・浜松市天竜区）は、古くから天竜林業で知られ、域内に広くスギ・ヒノキが植林されてきた。海に近い平野部は市街地や農地としての利用が多く、丘陵地帯には広葉樹の人工林や茶畑などの利用がある。緩斜面人工林は中山間地域に集中して分布し、中山間地域より内陸の山地帯と平野部および丘陵地帯では分散し、全体として不均一な分布を示す。

緩斜面人工林は最小集約化単位である10,000ha以上あり（図1）、一つの林業事業体とみなすことができる。毎年200haを伐採すると想定し、年次ごとの主伐作業をシミュレートした。人工林の集中する地域と分散する地域の代表地として春野地区（浜松市旧春野町）と御前崎市を選び、シミュレーションに用いた。

伐採作業は伐倒と玉切り（木材を規定の長さに伐ること）をするハーベスタと玉切りした材を集めて土場（人工林内の集材場所）に運ぶフォアワダの各1台と、それぞれの機械を運転する作業員計2名のチームで行うこととする。任意の主伐対象林分で伐採作業を開始し、伐採後に近傍の主伐対象林分に移動することとした。緩斜面人工林地内は林業作業路が整備されているとし、

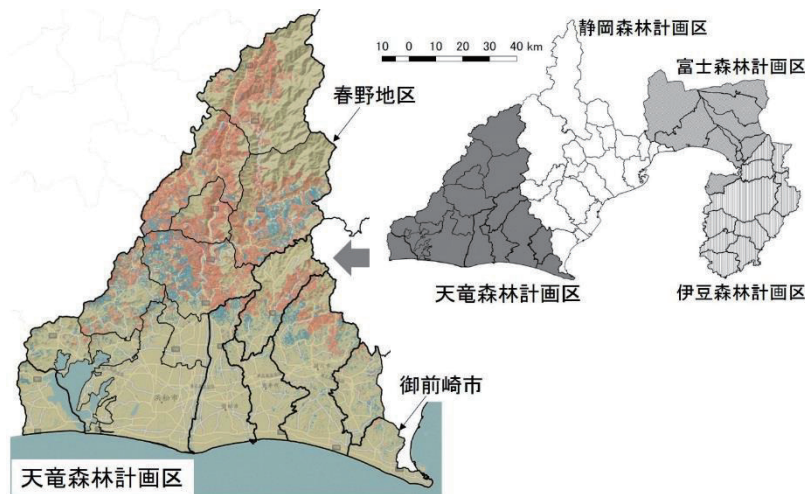


図1 静岡県の4つの森林計画区、および、天竜森林計画区の地形とスギ・ヒノキ人工林の分布

天竜森林計画区は静岡県の4つの森林計画区の西端に位置する。海から標高2,000mを超える山地帯まで変化に富む地形で、■と■はスギ・ヒノキ人工林を示す。このうち■は傾斜が25度より大きい人工林で海から離れた標高の高い地域に多く分布する。■は25度以下の緩斜面人工林を示し、これを解析の対象とした。緩斜面人工林は中山間地帯に多く見られ、平野部にはまばらに分布する。

³⁾ 自然公園や保安林など土地利用に制限がある‘制限林’以外の森林。

⁴⁾ 育成林は天然林以外の森林で、人工林のこと。単層林は植林を一度だけ行った森林のこと。植林を複数回行った複層林は、単層林と比べてごくわずかである。

主伐対象林分間をハーベスタとフォアワダは自走する。人工林以外の場所は、ハーベスタとフォアワダを大型トラックに積載し、作業員が運転して一般道を移動する。これらの林業機械は大型トラックに 1 台しか乗らないため、チームが一般道を 1 回移動するのにつき大型トラックは 1.5 往復する。主伐の対象は 51～70 年生の林分とし、面積当たりの材積量が異なる二つのクラス（51～60 年生と 61～70 年生）に分けた。

連続して伐採する面積（皆伐面積）は広いほうが林業作業の効率がよい。しかし、土砂崩れや生物相へのダメージの可能性は大きくなるため、防災と環境保全の観点からは皆伐面積はできるだけ小さいほうがよい。ここでは、皆伐面積の上限を 2 通り（1ha[7]と 2ha[8]）設定し、移動コストを計算した。主伐対象林分の面積がこれらの上限以下の場合には皆伐する。主伐地の面積が皆伐の上限面積を上回る場合は、上限面積分を皆伐し、次に上限面積分を伐採せずに保残し、次に上限面積分を皆伐するという条件で、保残をしながらできるだけ多くを伐採することとした（図 2）。伐採作業の諸条件を表 1 に示す。

QGIS（オープンソース地理情報システムソフト）[9]を用いて、人工林 GIS データを国土地理院地図[10]に重ね、道路の情報は基本的に国土地理院地図に従い、歩道以外の自動車用の道路は大型トラックの走行が可能とした。国土地理院地図で通行の寸断が認められる場合は、Google map[11]の航空写真を補助的に用い、道路や橋の存在が認められる場合はそれに従った。行政区界は、国土数値情報[12]の行政区域を用いた。

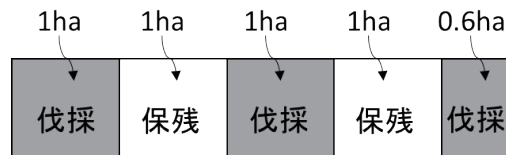


図 2 皆伐の例

皆伐上限面積を 1ha としたとき、4.6ha の主伐地区は 1ha ずつ伐採と保残を繰り返し、合計で 2.6ha を伐採する。

表 1 伐採作業の条件表

経営			
緩斜面人工林1万ha、50年伐期施業、毎年200ha主伐			
作業チーム			
ハーベスタ1台、フォアワダ1台、作業員2人			
作業員は移動時に大型トラックの運転をする			
主伐の生産性		m ³ /人日	75
面積あたり材積	51～60年生	m ³ /ha	350
	61～70年生	m ³ /ha	410
皆伐面積		1ha、2ha	
自走速度			
ハーベスタ		km/h	4
フォアワダ		km/h	10
*上記2種は常にエンジン始動状態にあり、自走燃料はそこに含む			
大型トラック		km/h	20
大型トラック			
レンタル料金		円/日	50,000
燃費		km/ℓ	2.3
燃料費		円/ℓ	120
林業機械積載時間 積む30分、降ろす30分			

3. 計算結果

人工林の分布パターンが異なる春野地区と御前崎市における主伐作業と移動のシミュレーションを図3に、移動に要した時間や距離などのパラメーターを表2に、移動コストを表3に示す。

- (1) 移動時間は主伐の本作業（伐採と集材）に要した延べ時間の2～11%であった（表2）。そのうち人工林が集中分布する春野地区では2～4%、分散する御前崎市では10～11%であった。春野地区と御前崎市では大型トラックの平均移動距離（1.2～1.9 km）は同等であったが、大型トラックでの移動頻度（春野地区 36～63 回/年 vs. 御前崎市 176～190 回/年）が大きく異なり、これが移動コストに大きな影響を与えた。
- (2) 伐採体積当たりの移動コストは25～143 円/m³であった（表3）。人工林が集中する地域でコストは低く（25～51 円）、分散する地域では高かった（133～143 円）。生産総コストに対する移動コストの割合は前者で1%前後、後者で4%以下であった。移動コストが木材生産の総コストの10%以内とする目標は両者で達成された。
- (3) 木質バイオマスの総生産コストへ与える影響は、面積当たりの材積の違いによるものは16%（51～60年生、61～70年生の二つの林齢クラスの材積差）であるのに対し、移動コストによるものは4%以内であった。移動コストによる影響のほうが小さいことが分かった。
- (4) 皆伐面積を1haと2haの2つを設けた。皆伐面積が小さいほうが移動距離、移動回数、移動のための時間が増す傾向があったが、その差は顕著なものではなかった（春野地区 30～51 円 vs. 25～50 円、御前崎市 143 円 vs. 133 円）。防災と環境保全の観点から皆伐上限面積は1haが望ましい。

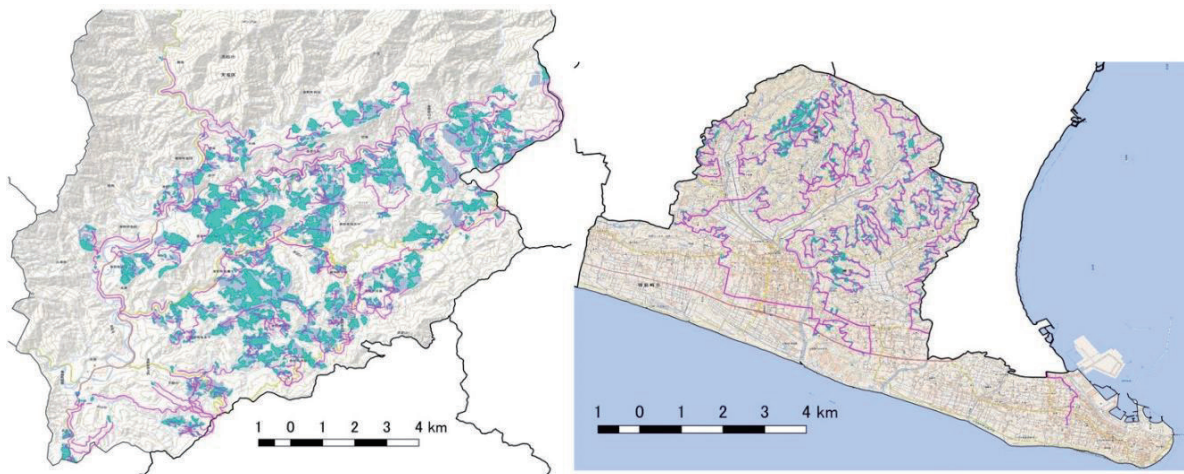


図3 主伐作業のシミュレーション

任意の主伐対象地をスタートして、伐採作業を終えたら近傍の主伐対象地へ林業機械で自走または大型トラックで移動するとした。

（左図：人工林が集中する春野地区、右図：人工林が分散する御前崎市）

（■：主伐区、■：緩斜面人工林、—：移動経路）

表 2 移動に要した時間や大型トラックの費用などのパラメーター

1 年間に 200ha の人工林を伐採

	林齢	皆伐面積	項目	単位	
春野地区	51～60年	1ha	伐採本作業に対する移動時間割合	%	4
			移動の人件費	円/年	369,341
			大型トラックでの移動回数	回/年	63
			大型トラックでの平均移動距離	km	1.2
			大型トラックの費用(レンタル、燃料)	円/年	3,162,118
		2ha	伐採本作業に対する移動時間割合	%	4
			移動の人件費	円/年	349,902
			大型トラックでの移動回数	回/年	62
			大型トラックでの平均移動距離	km	1.2
			大型トラックの費用(レンタル、燃料)	円/年	3,112,002
	61～70年	1ha	伐採本作業に対する移動時間割合	%	3
			移動の人件費	円/年	281,866
			大型トラックでの移動回数	回/年	42
			大型トラックでの平均移動距離	km	1.9
			大型トラックの費用(レンタル、燃料)	円/年	2,112,331
		2ha	伐採本作業に対する移動時間割合	%	2
			移動の人件費	円/年	242,988
			大型トラックでの移動回数	回/年	36
御前崎市	51～70年	1ha	伐採本作業に対する移動時間	%	11
			移動の人件費	円/年	563,731
			大型トラックでの移動回数	回/年	190
			大型トラックでの平均移動距離	km	1.3
			大型トラックの費用(レンタル、燃料)	円/年	9,524,867
		2ha	伐採本作業に対する移動時間	%	10
			移動の人件費	円/年	563,731
			大型トラックでの移動回数	回/年	176
			大型トラックでの平均移動距離	km	1.2
			大型トラックの費用(レンタル、燃料)	円/年	8,831,756

表 3 移動コストと木質バイオマス生産総コストに対する移動コストの割合

	林齢	皆伐面積	伐採体積当たり の移動コスト	生産総コストに対 する移動コスト
			円/m ³	%
春野地区	51～60年	1ha	51	1.3%
		2ha	50	1.3%
	61～70年	1ha	30	0.8%
		2ha	25	0.7%
御前崎市	51～70年	1ha	143	3.8%
		2ha	133	3.5%

4. まとめ

- (1) 広域の人工林 GIS データに基づいた主伐作業における移動コストの計算から、人工林資源の不均一な分布のもとでも主伐作業の集約化が可能であった。
- (2) 人工林の分布が集中する地域と分散する地域の移動コストには 4~6 倍の違いがある。この違いを前提として主伐作業の計画を作ることができる。
- (3) 自然公園以外は皆伐面積の規制はない。環境保全と防災の観点から皆伐上限面積は小さいほうが望ましい。科学的な根拠に基づいた皆伐の上限面積は提案されているが[7]、皆伐の規制は設けられていない[13]。現状では自治体などのガイドラインは経験則に基づいて設けられている。本提案書では、1ha の皆伐面積上限値がコスト面から実現可能であることを示した。今後、最小の施業単位を 1ha に設定できる。1ha 未満の林分が多数集まった現状の人工林において、大規模集約化を推進するために、最小施業単位を 1ha という比較的小さな単位に切り替えていくことは容易である。また、現状では人工林林齢分布の偏りが大きい、林齢平準化を行うための主伐計画を作る上でも本研究の結果を利用できる。
- (4) 今後の展望として、本研究の方法に則って、以下のような主伐作業の計画を作成できる。
 - ① 分布域が集中する地域と分散する地域で、主伐作業を毎年交互に行う場合には、1 年ごとに移動コストが変動することを予測できる。
 - ② 移動コストの年次変動を小さくするために、人工林の分布の集中する地域と分散する地域の主伐作業を行う面積の割合を最適化できる。
 - ③ 移動コストを削減するために、人工林が分散する地域の主伐は行わないという選択肢がある。
- (5) 課題として以下 2 点を挙げる。林業作業路は既設のものとして今回の計算を行ったが、作業路の開設コストの検討が必要である。また、傾斜 25 度以上の人工林を含めての集約化の検討が必要である。また、今後、移動の時間と距離の現地調査等が必要である。

5. 政策立案のための提案

- (1) 持続的に林業経営を行うためには大面積人工林で集約的に作業をする必要がある。人工林の分布パターンは空間的にも時間的にも不均一である。分布パターンを把握し、適切な施業計画を作成することでコストの予測を行うことが重要であるため、人工林の GIS データと森林簿等の林分ごとの樹種や作業履歴の属性データの公開が望ましい。
- (2) 防災と環境保全の観点から皆伐面積を 1ha 以下とすることが望ましく、低コストで実現可能である。皆伐区と皆伐区の距離はどの程度が適切なのか基準がない。今後、なんらかの基準が必要である。

参考文献

- [1] 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書, 技術開発編, “木質バイオマス燃料のコスト低減—林業素材生産コストの機械化推進による低減効果—”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2016 年 3 月.
- [2] 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書, 技術開発編, “木質バイオマス燃料のコスト低減 Vol.2—木質バイオマスの生産総コストとその低減策—”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2017 年 3

- 月.
- [3] 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書, 技術開発編, “木質バイオマスエネルギーのポテンシャルの分布と考察”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2018 年 1 月.
 - [4] 静岡県経済産業部森林・林業局森林計画課 “静岡県森林・林業統計要覧 H28 年度版” の民有林人工林スギから計算
 - [5][6] 静岡県森林情報共有システム, 静岡県 H29 年度天竜森林計画図および森林簿,
<https://fgis.pref.shizuoka.jp/> (アクセス日 2017 年 12 月 1 日) .
 - [7] 正木隆, “森づくりの原理・原則ー自然法則に学ぶ合理的な森づくりー”, 全国林業改良普及協会, 2018.
 - [8] Otto K. Sedlak, “Forest harvesting and environment in Austria”, FAO Forestry Paper, No.133, 1994. Contributing to environmentally sound forest operations, IUFRO & FAO, edited by Cennis P. Dykstra and Rudolf Heinrich.
 - [9] QGIS ver.2.18.11, <http://qgis.org/> (アクセス日 2017 年 12 月 1 日)
 - [10] 国土地理院, 国土地理院 (電子国土 Web) , <http://geolib.gsi.go.jp/node/2555> (アクセス日 2018 年 12 月 1 日) .
 - [11] Google Map 2018 Google 地図データ 2018ZENRIN (アクセス日 2018 年 12 月 1 日) .
 - [12] 国土地理院, “国土数値情報 行政区画データ”, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (アクセス日 2018 年 12 月 1 日) .
 - [13] 森林総合研究所, “大面積皆伐についてのガイドラインの策定”, 森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 30, 2010.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

木質バイオマスエネルギーポテンシャルの
地域分布 (Vol.2)

「木質バイオマスエネルギーのポテンシャルの分布と考察」より改題
ー不均一に分布する人工林の伐採作業のコストー

平成 31 年 2 月

Regional Distribution of Energy Potential of Wood Biomass (Vol.2):

Cost of Cutting in Artificial Forests Distributed Heterogeneously

Strategy for Technology Development,

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action

toward Low Carbon Societies,

Center for Low Carbon Society Strategy,

Japan Science and Technology Agency,

2019.2

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 研究員 河原崎 里子 (Satoko KAWARASAKI)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4 階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp

<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2019 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
