

住宅の暖房方式が在宅時座位行動に及ぼす影響に関する多変量解析

4.環境工学—21.環境設計

正会員 ○ 明内 勝裕*1 正会員 伊香賀俊治*2
正会員 小島 弘*3 正会員 伊藤 真紀*4

座位行動 身体活動 住宅内温熱環境
床放射式暖房 対流式暖房

1. 背景と目的

近年、日本の生活習慣病の患者数は増加傾向にあり^[1]、それらの予防には身体活動促進が効果的^[2]であることが分かっている。「健康日本21(第二次)^{注1}」では身体活動量の増加に関する目標とともに、身体活動や運動に取り組みやすい環境整備を掲げている^[3]。しかし、現状では目標に達しておらず、さらに新型コロナウイルス感染症流行下において人々の身体活動は大幅に減少している^[4]。また、在宅時間の増加に伴い人々の座位時間は大幅に増加し^[4]、健康に対して深刻な問題を引き起こしている。既往研究^[5]では暖房使用と在宅時の座位行動の関連は検討されているが、低断熱住宅下での検討についてであり、高断熱住宅下での分析は不十分である。

そこで、本研究では「住宅内の温熱環境及び暖房方式が在宅時の座位行動に及ぼす影響の検討」を目的とし、①温熱環境を介した対流式暖房と床放射式暖房の違いによる座位行動への影響と、②同一対象者に対する暖房の積極利用介入による座位行動の変化について検討を行う。

2. 調査概要

本調査では、断熱性能が H11 年基準以上の住宅で、冬季にエアコンまたは床暖房を主に使用している居住者(20歳以上の成人)を対象として、2017年度1月～3月に横断調査を、2018年度1月～2月に介入調査を実施した(表1)。いずれも測定期間は2週間とし、横断調査と介入調査では異なる対象者が参加した。横断調査では普段通りの暖房利用を依頼した。介入調査では、測定期間のうち、前半1週間は普段通りの暖房利用を、後半1週間は「起床時に居間が十分に暖くなる」、「日中でも居間が暖かく保たれる」という条件を満たすような暖房利用(以下、積極利用)を依頼した。横断分析では、横断調査の対象者および介入調査の対象者(ただし、前半1週間のデータのみ)を分析対象として、暖房方式別に主にエアコンを使用している群(対流式暖房群)と主に床暖房を使用している群(床放射式暖房群)の2群に分けた。縦断分析では、横断調査の対象者を非介入群とし、介入調査の対象者を対流式暖房の積極利用群、床放射式暖房の積極利用群の2群に分けた。

実測項目では温湿度計を用いて住宅の温湿度を測定し、装着型3軸加速度計(オムロンヘルスケア社:HJA-750C)による身体活動の測定を行った。測定期間中の行動日誌、アンケートより個人属性・生活習慣の把握を行った(表2)。

表1 調査概要

	横断調査	介入調査
対象者	関東～九州の断熱性能が H11 年基準以上の住宅の居住者 (20 歳以上)	
対象者数	103 世帯 199 名	103 世帯 202 名
対象時期	2017 年度 1～3 月	2018 年度 1～2 月

表2 実測調査概要

身体活動	測定項目	活動強度、活動時間、活動種類 (10秒・60秒間隔で連続測定)
	測定機器	HJA-750C (オムロンヘルスケア社)
温湿度	測定項目	温度・相対湿度 (10分間隔で連続測定) 居間 (床上1m、床近傍、床表面)、 寝室、脱衣所、廊下、トイレ (床上1m)
	測定機器	TR-72wf、TR-51i、TR-71wf (T&D社)
アンケート	調査項目	個人属性、着衣量、身体の痛み等
日誌	調査項目	起床就寝時刻、外出帰宅時刻等

分析の有効サンプルとして測定日誌・アンケートの全欠損、活動量・温湿度データの全欠損を除いた。身体活動は60秒 epoch データを用い、活動量計の1.0METs未滿が60分以上続いた場合(ただし、1.0METs以上が2分間以内で検出された場合は1.0METs未滿とみなす)を非装着時間とした。1日の装着時間が600分未滿の日、在宅時間が2時間未滿の日を除外し、有効日数が4日未滿の者を除いた^[6]。

座位行動の定義は活動量計が識別する活動強度が1.5METs以下の身体活動とした^[7]。また、座位行動が連続で30分以上測定された場合のみ集計を行った。座位行動中断回数は2つの座位行動バウト^{注2}の間にある非座位行動(低強度以上の身体活動)バウトの測定回数と定義した^[7]。ただし、横断調査では座位行動中断回数を計測できていない為、介入調査サンプルのみを用いた。在宅時間は測定日誌に基づき起床時刻から外出時刻まで及び帰宅時刻から就寝時刻とした。

なお、調査方法に関しては慶應義塾大学理工学部・理工学研究科の生命倫理委員会の承認を得たプロトコルで調査を実施した(承認番号:29-79,30-96)。

3. 調査結果

3.1 集計結果

3.1.1 個人属性

横断分析対象者の暖房方式ごとに個人属性の集計を行った(表3)。非介入群の平均年齢は51.3±12.7歳、介入群のうち対流式暖房群を用いている者では46.7±11.8歳、床放射式暖房群を用いている者では48.5±14.2歳であった。

3.1.2 住宅内温熱環境

在宅時間を対象に非介入群と介入群の通常利用、積極利用ごとに住宅内温熱環境の集計を行った(表4)。また、暖房方式ごとの居間床上1m室温及び床近傍室温の分布を図1~図4に示す。

3.1.3 座位行動

在宅時間を対象に非介入群と介入群の通常利用、積極利用ごとに1日あたりの座位行動時間、座位時間1時間あたりの座位行動中断回数の集計を行った(表5)。また、暖房方式ごとの1日あたりの座位行動時間、座位時間1時間あたりの座位行動中断回数の分布を図5~図8に示す。

表3 個人属性

個人属性		対流式暖房群	床放射式暖房群
年齢 [歳]		49.0±12.4	49.8±14.1
性別	男性 [名]	97	69
	女性 [名]	97	78
BMI [kg/m ²]		22.0±2.9	22.5±3.1
仕事の有無	無職 [名]	59	51
	有職 [名]	132	94
世帯年収	600万円未満 [名]	68	46
	600万円以上 [名]	126	101
同居人数	2人以下 [名]	46	30
	3人~5人 [名]	126	111
	6人以上 [名]	16	5
運動習慣	なし [名]	133	110
	あり [名]	55	37
体の痛み	なし [名]	63	45
	軽度 [名]	102	83
	中程度以上 [名]	23	19
着衣量 [clo]		0.82±0.31	0.84±0.30

表4 住宅内温熱環境

暖房方式	対流式暖房群		床放射式暖房群	
	あり	なし	あり	なし
コタツの使用 [名]	13	175	4	144
脱衣所暖房の使用 [名]	42	146	30	118
住宅内温熱環境				
非介入群	対流式暖房群		床放射式暖房群	
	居間床上1m室温 [°C]		19.3±2.5	19.1±2.9
	居間床近傍室温 [°C]		19.0±3.1	22.0±4.8
	居間・脱衣所室温温度差 [°C]		4.8±2.8	4.2±3.0
通常利用	対流式暖房群		床放射式暖房群	
	居間床上1m室温 [°C]		19.7±2.4	19.5±2.7
	居間床近傍室温 [°C]		18.1±2.8	22.4±3.9
	居間・脱衣所室温温度差 [°C]		3.3±2.2	3.7±2.6
積極利用	対流式暖房群		床放射式暖房群	
	居間床上1m室温 [°C]		19.7±2.4	18.9±2.3
	居間床近傍室温 [°C]		18.0±3.2	22.8±4.2
	居間・脱衣所室温温度差 [°C]		4.6±2.4	4.6±2.8
温度変化	対流式暖房群		床放射式暖房群	
	居間上下温度差 [°C]		1.7±2.4	-3.9±3.9
	居間床上1m室温 [°C]		-0.6±4.4	-0.4±1.7
	居間床近傍室温 [°C]		-0.6±4.2	+0.5±2.2
居間・脱衣所室温温度差 [°C]		+1.0±1.6	+1.0±1.3	
居間上下温度差 [°C]		+0.1±1.7	-1.0±1.7	

表5 座位行動

座位行動		対流式暖房群	床放射式暖房群
非介入群	座位行動時間 [時/日]	3.5±2.3	3.5±2.3
	座位行動中断回数 [回/時]		
通常利用	座位行動時間 [時/日]	3.3±2.2	3.2±2.5
	座位行動中断回数 [回/時]	14.3±12.5	17.8±18.8
積極利用	座位行動時間 [時/日]	3.3±2.2	3.4±2.7
	座位行動中断回数 [回/時]	13.8±12.1	15.5±16.2

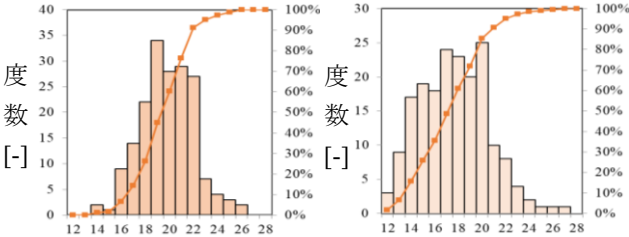


図1 対流式暖房群 居間床上1m室温 [°C]

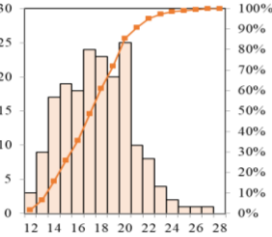


図2 対流式暖房群 居間床近傍室温 [°C]

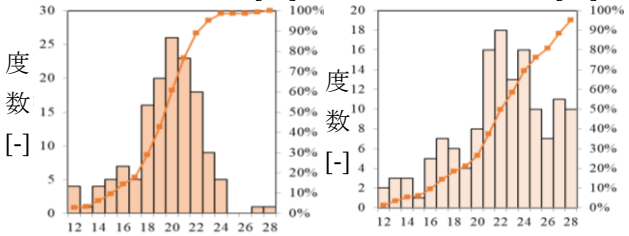


図3 床放射式暖房群 居間床上1m室温 [°C]

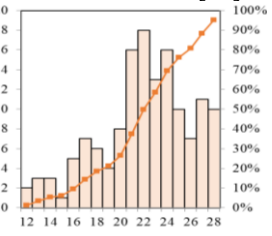


図4 床放射式暖房群 居間床近傍室温 [°C]

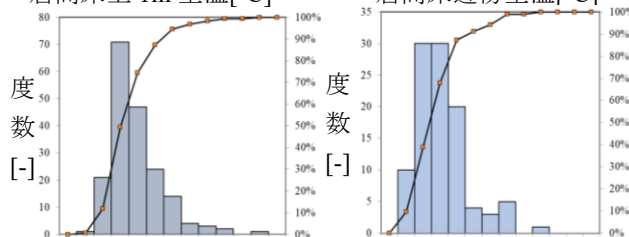


図5 対流式暖房群 座位時間 [時/日]

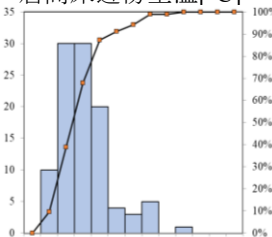


図6 対流式暖房群 座位行動中断回数 [回/時]

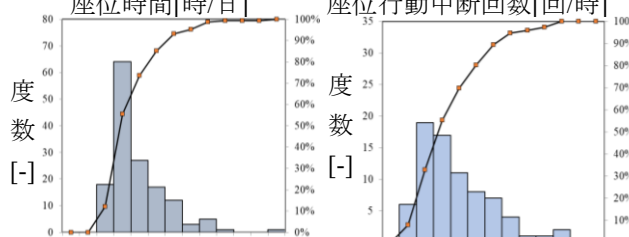


図7 床放射式暖房群 座位時間 [時/日]

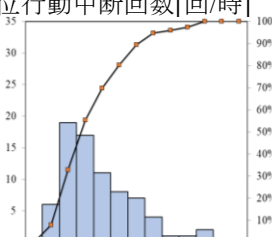


図8 床放射式暖房群 座位行動中断回数 [回/時]

3.2 住宅環境と座位行動の関連 (横断分析)

3.2.1 住宅環境と座位行動時間の関連

暖房方式毎に在宅時間を集計したところ対流式暖房群は 532±262 分であり、床放射式暖房群は 553±270 分であった。そこで、座位行動時間を在宅時間で除した座位行動時間割合を今後の分析で用いる。座位行動は暖房方式の他に様々な要因から影響を受けると考えられる為、暖房方式に加え、個人属性、住宅内温熱環境等を考慮するべく多変量解析を行う。データの階層性を考慮し、日レベルの変数と個人レベルの変数を分けたマルチレベル分析を行う。目的変数を座位行動時間/在宅時間[-]とし、説明変数を段階的に暖房方式、コタツの有無、脱衣所暖房の有無、居間床近傍室温、居間-脱衣所床上 1m 室間温度差を投入した。調整変数に年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量及び日レベルの休日かどうか、外出の有無、降雨の有無を調整した。ログリンク n=329
AICC (補正赤池情報量基準) 暖房モデル: 2,594 暖房+室温モデル: 3,549

***:p<0.001、**:p<0.01、*:p<0.05、†:p<0.10 と表記する。

暖房モデルでは調整変数に加え、暖房方式とコタツ、脱衣所暖房の使用の有無を投入した。その結果、対流式暖房を使用している者に比べ床放射式暖房を使用している者は在宅時間あたりの座位行動時間が 0.94 倍である傾向が示された。暖房+室温モデルでは暖房モデルに加え居間床近傍室温及び居間-脱衣所床上 1m 室間温度差を日レベル、個人レベルそれぞれに投入した。その結果、居間床近傍が 1℃暖かい日は在宅時間あたりの座位行動時間が 0.99 倍の傾向、室間温度差が 1℃大きい日は有意に 1.02 倍であることが示された。

対象者の平均在宅時間が 541.4 分であることから暖房方式の違いは 1 日あたりの座位行動時間 32.5 分の差に相当する。同様に居間床近傍室温 1℃の差は 5.4 分、室間温度差 1℃の差は 10.8 分に相当する。

3.2.2 住宅環境と座位行動中断回数の関連

続いて、座位時間 1 時間あたりの座位行動中断回数について多変量解析を行う。目的変数を座位行動中断回数/座位行動時間[回/時]とし、説明変数、調整変数は座位行動時間の分析と同様とした。目的変数の分布からガンマ分布を仮定し、一般化線形混合モデルにて分析を行った。結果を表 7 に示す。

暖房モデルでは脱衣所暖房を使用している者はしていない者に比べ、座位行動時間あたりの座位行動時間中断回数が 1.18 倍多い傾向が示された。暖房+室温モデルでは居間床近傍室温が 1℃暖かい日は座位行動時間あたりの座位行動時間中断回数が有意に 1.03 倍、室間温度差が 1℃大きい日は 0.96 倍の傾向が示された。

表 6 住宅環境と座位行動時間

目的変数		座位行動時間/在宅時間[-]				
説明変数		暖房モデル		暖房+室温モデル		
		Exp(β)	p	Exp(β)	p	
切片		0.23	<0.001	0.29	<0.001	
日レベル	居間床近傍室温[℃]			0.99	0.082 †	
	居間-脱衣所室間温度差[℃]			1.02	0.001**	
個人レベル	居間床近傍室温[℃]			1.00	0.600	
	居間-脱衣所室間温度差[℃]			1.00	0.948	
暖房	暖房方式 (ref.対流式)	床放射式	0.94	0.086 †	0.94	0.118
	こたつの使用 (ref.なし)	あり	1.05	0.535	1.02	0.783
	脱衣所暖房使用 (ref.なし)	あり	0.97	0.537	0.96	0.294

個人レベルの年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量及び日レベルの休日かどうか、外出の有無、降雨の有無を調整した。ログリンク n=329
AICC (補正赤池情報量基準) 暖房モデル: 2,594 暖房+室温モデル: 3,549

表 7 住宅環境と座位行動中断回数

目的変数		座位行動中断回数/座位行動時間[回/時]				
説明変数		暖房モデル		暖房+室温モデル		
		Exp(β)	p	Exp(β)	p	
切片		19.41	<0.001	18.19	<0.001	
日レベル	居間床近傍室温[℃]			1.03	0.049*	
	居間-脱衣所室間温度差[℃]			0.96	0.095 †	
個人レベル	居間床近傍室温[℃]			0.99	0.584	
	居間-脱衣所室間温度差[℃]			1.01	0.618	
暖房	暖房方式 (ref.対流式)	床放射式	1.13	0.137	1.12	0.161
	こたつの使用 (ref.なし)	あり	1.00	0.985	1.01	0.939
	脱衣所暖房使用 (ref.なし)	あり	1.18	0.086 †	1.19	0.097 †

個人レベルの年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量及び日レベルの休日かどうか、外出の有無、降雨の有無を調整した。ログリンク n=178
AICC (補正赤池情報量基準) 暖房モデル: 4,130 暖房+室温モデル: 3,841

対象者の 1 日の平均座位行動時間は 3.45 時間であることから脱衣所暖房の使用により座位行動中断回数は 0.62 回/日多いことに相当する。同様に居間床近傍室温 1℃の差は 0.10 回/日、室間温度差 1℃の差は 0.14 回/日に相当する。

在宅時室温に着目すると居間床近傍が暖かく、室間温度差が小さい環境は座位行動時間を減少させ、同時に座位行動を取った際にも低強度以上の身体活動に移行する回数を増加させることが示された。これは様々な健康被害の一因である座りすぎを抑制することに繋がる可能性が示唆された。また、有意ではないものの対流式暖房に比べ床放射式暖房を使用することや脱衣所暖房を使用することは、座位行動の減少及び座位行動中断を介して座りすぎの抑制に寄与する可能性が示された。

続いて暖房の積極利用に伴う住宅内温熱環境の変化とそれによる座位行動の変容について介入調査のサンプルを対象に分析を行う。

3.3 暖房の積極利用と座位行動の関連（縦断分析）

3.3.1 暖房の積極利用と座位行動時間の関連

介入群の比較対象として非介入群の前半1週間と後半1週間を分けて用い、暖房利用の介入による座位行動、座位行動中断回数への影響の検討を行う。目的変数を後半1週間の座位行動時間/在宅時間[-]とし、説明変数を段階的に各暖房の介入効果、居間床近傍室温変化、居間-脱衣所床上1m 室間温度差変化を投入した。調整変数に前半1週間の座位行動時間/在宅時間、年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量を投入した。目的変数の分布からガンマ分布を仮定し、一般化線形モデルにて分析を行った。結果を表8に示す。

暖房モデルでは対流式暖房、床放射式暖房ともに積極利用による座位行動時間に対する有意な影響は確認されなかった。暖房+室温モデルでは室間温度差が1℃増加することによって座位行動時間は1.05倍有意に増加することが示された。これは1日あたりの座位行動時間27.1分の増加に相当する。

3.3.2 暖房の積極利用と座位行動中断回数の関連

続いて暖房利用の介入による座位行動中断回数への影響を検討するため、目的変数を後半1週間の座位行動中断回数/座位行動時間[回/時]とし、説明変数を居間床近傍室温変化、居間-脱衣所床上1m 室間温度差変化としてガンマ分布を仮定した一般化線形モデルにて分析を行った。調整変数に前半1週間の座位行動中断回数/座位行動時間、年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量を投入した。結果を表9に示す。

室間温度差が1℃増加することによって座位行動中断回数は0.94倍有意に減少することが示された。これは0.21回/日少ないことに相当する。

4. まとめと今後の展望

本研究では住宅内温熱環境、暖房方式と居住者の座位行動の関連の検討を目的とし、暖房方式の違い及び居間床近傍室温と居間-脱衣所室間温度差に着目した分析を行った。以下に得られた分析結果を示す。

- ・対流式暖房を使用している者に比べ床放射式暖房を使用している者は座位行動時間が1日あたり32.5分短い傾向。また、居間床近傍室温が1℃高いことで5.4分短い傾向、室間温度差が1℃大きいことで10.8分有意に長いことが示された。
- ・脱衣所暖房を使用している者はしていない者に比べ1日あたりの座位行動中断回数が0.62回多い傾向。居間床近傍室温が1℃高いことで有意に0.10回多く、室間温度差が1℃大きいことで0.14回少ない傾向が示された。

表8 暖房の積極利用と座位行動時間

目的変数	後半1週間の座位行動時間/在宅時間[-]			
	暖房モデル		暖房+室温モデル	
	Exp(β)	p	Exp(β)	p
切片	0.16	<0.001	0.18	<0.001
対流式暖房の積極利用 (ref.非介入群)	1.04	0.295	0.94	0.169
床放射式暖房の積極利用 (ref.非介入群)	1.04	0.330	0.94	0.202
居間床近傍室温変化[℃]			1.00	0.427
居間-脱衣所室間温度差変化[℃]			1.05	<0.001***

前半1週間の座位行動時間/在宅時間、年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量を調整した。ログリンク n=300
AICC (補正赤池情報量基準) 暖房モデル: -490 暖房+室温モデル: -475

表9 暖房の積極利用と座位行動中断回数

目的変数	後半1週間の座位行動中断回数/座位行動時間[回/時]	
	Exp(β)	p
切片	4.97	0.001
居間床近傍室温変化[℃]	1.01	0.499
居間-脱衣所室間温度差変化[℃]	0.94	0.028*

前半1週間の座位行動中断回数/座位行動時間、年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量を調整した。ログリンク n=162
AICC (補正赤池情報量基準): 1,026

・室間温度差が1℃増加することで1日あたりの座位行動時間が有意に27.1分増加することが示された。

・室間温度差が1℃増加することで1日あたりの座位行動中断回数が有意に0.21回減少することが示された。

以上より、床放射式暖房・脱衣所暖房の利用、断熱性能向上等の効果に期待される居間床近傍室温の上昇、室間温度差の低下が住宅における座りすぎの抑制の一助になる可能性が示された。

【謝辞】本研究の実施に際し多大なご支援を頂いた(一社)日本ガス協会、積水ハウス㈱の皆様、調査にご協力いただいた皆様に心より謝意を表す。尚、本研究は(一社)日本ガス協会と積水ハウス㈱との共同研究「暖房方式・住宅の断熱性能が健康へ与える影響に関する測定調査(研究代表者:伊香賀俊治)」およびJSPS科研費JP17H06151の助成を受け実施したものである。

【注釈】注1)厚生労働省:健康増進法に基づく国民の健康の増進を図る為の基本方針を定めたもの 注2)一つの活動種類の継続時間並びに継続すること

【参考文献】[1]厚生労働省,人口動態調査,2018 [2]U.S. Department of Health and Human Services: Physical Activity and Health. A Report of the Surgeon General, International Medical Publishing, 1996 [3]厚生労働省,健康日本21(第二次)国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針 [4]Effects of home Confinement on multiple Lifestyle Behaviors during the COVID-19 outbreak; ECLB-COVID19 [5]伊藤真紀ら,成人における冬季の住宅内の暖房使用と座位行動および身体活動:スマートウェルネス住宅調査による横断研究,日本運動疫学会誌「運動疫学研究」,2020 [6]Honda T, Chen S, Kishimoto H, Narazaki K and Kumagai S. 2014. Identifying associations between sedentary time and cardio-metabolic risk factors in working adults using objective and subjective measures: a cross-sectional analysis. BMC Public Health14:1307.doi:10.1186/1471-2458-14-1307.[7]Tremblay,M.S. Aubert S.,Barnes J.D, et al.,2017.Sedentary Behavior Research Network(SBRN)-Terminology Consensus Project process and outcome. Int J Behav Nurt Phys Act 14:75

*1 慶應義塾大学大学院理工学研究科 修士課程

*2 慶應義塾大学理工学部教授・博士(工学)

*3 慶應義塾大学共同研究員・博士(工学)

*4 積水ハウス株式会社・修士(工学)

*Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Keio Univ¹⁵

* Prof., Faculty of Science and Technology, Keio Univ., Dr.Eng.¹²

* Co-researcher, Keio Univ., Dr.Eng.¹³

*Sekisui House, Ltd, M.Eng.¹⁴