

様々な寝具の利用による就寝時の快適性と省エネ効果について（報告）

1. はじめに

快適に就寝するためには、寝室や寝具の温熱環境を調節することが極めて重要である。特に冬季においては、肌掛け布団・毛布の使用や、エアコン・電気敷毛布・電気あんか等の活用などにより、就寝時の快適性の向上が期待される。しかしながら実際に、様々な寝具の活用による省エネ効果を心理量と照らし合わせて評価した例は少ない。そこで本実験では、これら寝具の組み合わせによる省エネ効果や就寝時の快適性の向上について、被験者試験を交えて実験を行い、定量的に評価する。

【発信したい内容】

- ・肌掛け布団や毛布の使用による快適性と省エネ効果について
- ・電気あんかや電気敷毛布の活用による快適性と省エネ効果について

2. 予備実験

(1) 概要

被験者試験における、寝具の組み合わせや機器設定等の実験条件を選定するために、サーマルマネキン*を用いて、模擬的に人体皮膚温の測定を行う。得られた測定結果のうち、サーマルマネキン全身の平均表面温が 33°C（快適に就寝することができる寝具内温度）に近い値をとる条件を計 5 個選定する。

※サーマルマネキンとは、人体型のマネキン（図 1）であり、マネキン内部の電熱線の発熱量を調整することで、ヒトの人体各部位の発熱量や皮膚温を模擬的に計測できる。

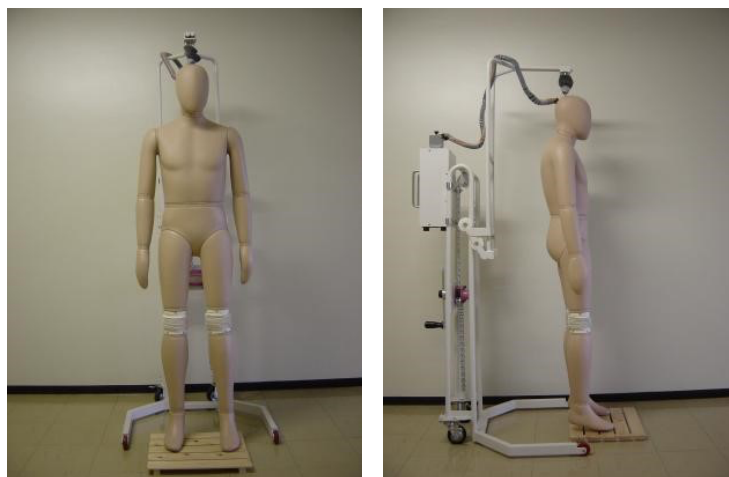


図 1. サーマルマネキン

(2) 実験方法

- ・摂南大学の恒温恒湿室にて、様々な室内環境および機器設定におけるサーマルマネキンの表面温の測定を行った。なお、サーマルマネキンは定発熱制御（室温 20°C 環境下で合掛け布団のみの条件において表面温が 33°C ± 1°C となるような発熱量を維持し続ける制御）とし、表面温の測定を実施した。
- ・使用寝具の仕様と実験条件は表 1, 2 の通りである。

表 1. 実験で使用した寝具の仕様

寝具	仕様
敷布団	型番：7545501、寸法：100 cm × 210 cm、生地：ポリエステル 100%
敷布団カバー	型番：7518115、寸法：105 cm × 215 cm、生地：綿・コットン 100%
合掛け布団	型番：7545501、寸法：150 cm × 210 cm、生地：ポリエステル 100%
肌掛け布団	型番：7545501、寸法：150 cm × 210 cm、生地：ポリエステル 100%
枕	型番：7545501、寸法：40 cm × 60 cm、生地：ポリエステル 100%
枕カバー	型番：7518114、寸法：43 cm × 63 cm、生地：綿・コットン 100%
毛布	型番：7545501、寸法：140 cm × 190 cm、生地：ポリエステル 100%
電気あんか	品番：DW-78P、寸法：29 cm × 39 cm、定格：30 W 設定：5 段階（弱：1、強：5） 生地：ポリエステル 100%
電気敷毛布	品番：DB-U31LS、寸法：160 cm × 85 cm、定格：47 W 設定：8 段階（弱：1、強：8） 生地：ポリエステル 100%（たて糸） ポリエステル 65%・アクリル 35%（よこ糸・羽毛部）
パジャマ（男性）	品番：SG2344、サイズ：L、M、袖丈：長袖、生地：綿・コットン
パジャマ（女性）	品番：TG2324、サイズ：M、袖丈：長袖、生地：綿・コットン

表 2. サーマルマネキンを用いた予備実験における実験条件

寝具	室温	寝具	設定	室温
合掛け布団	20°C	合掛け布団 + 肌掛け布団 + 毛布 + 電気あんか (5 段階)	1	14°C
	16°C		1	12°C
	12°C		5	14°C
合掛け布団 + 肌掛け布団	20°C	合掛け布団 + 肌掛け布団 + 毛布 + 電気敷毛布 (8 段階)	5	12°C
	18°C		1	14°C
	16°C		1	12°C
	14°C		3	12°C
合掛け布団 + 肌掛け布団 + 毛布	16°C		3	10°C
	14°C			
	12°C			

(3) 実験結果

- ・各条件における平均表面温の結果を図2に示す。
- ・肌掛け布団を追加することで、室温が18℃でも平均表面温は33℃以上を保つ。
- ・肌掛け布団と毛布を追加することで、室温が14℃でも平均表面温は約33℃となる。
- ・電気あんか（設定5）を追加することで、室温12℃において平均表面温は約33℃となる。
- ・電気敷毛布（設定3）を追加することで、室温が10℃でも平均表面温は33℃以上を保つ。
- ・平均表面温が33℃付近となるように、被験者試験にて実施する5条件を選定した（表3）

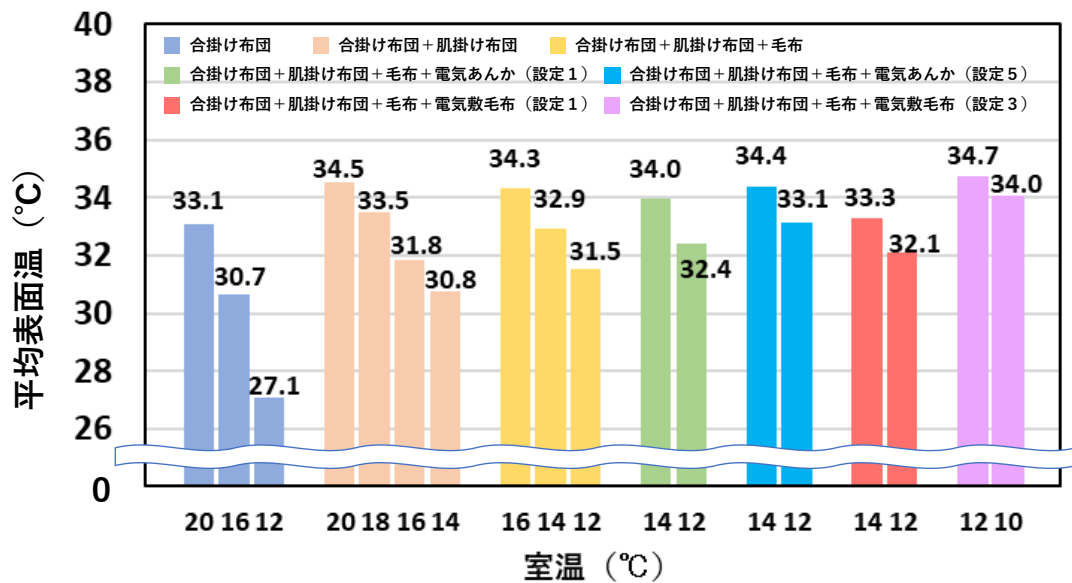


図 2. サーマルマネキン（定発熱制御）による平均表面温の測定結果

表 3. 被験者試験の実験条件

条件番号	寝具	室温
①	合掛け布団	20℃
②	合掛け布団 + 肌掛け布団	18℃
③	合掛け布団 + 肌掛け布団 + 毛布	14℃
④	合掛け布団 + 肌掛け布団 + 毛布 + 電気あんか（設定：強）※	14℃
⑤	合掛け布団 + 肌掛け布団 + 毛布 + 電気敷毛布（設定：強）※	14℃

※電気あんかおよび電気敷毛布は、就寝中は設定1もしくはOFFにすることが推奨されているため、就寝30分前～就寝直前まで設定：強で電源をONとし、就寝後は電源をOFFにした。

3. 本実験

(1) 概要

予備実験にて選定した5条件(表3)において、20代の学生を対象とした被験者試験を実施する。被験者には、就寝前後における温冷感と快適感に関する心理申告を実施し、皮膚温や消費電力についても測定を行う。

(2) 実験方法

- 被験者5名に同時刻帯に1名ずつ実験室に来てもらい、体調確認をしたのちにパジャマに着替えさせ、身体各部位に皮膚温を測定するセンサー(0.2mmT型熱電対)を取り付けた。皮膚温の測定箇所は、Hardy DuBois7点(生理学の分野での皮膚温測定において広く用いられている部位)を基準とし前面と背面で寝具が異なるため、必要な点を追加した以下の12点である。
①額 ②胸 ③腹 ④背 ⑤腰 ⑥前腕 ⑦手背 ⑧大腿前 ⑨大腿後
⑩下腿前 ⑪下腿後 ⑫足背
- センサー取り付け後、恒温恒湿室に入室、布団に入り、45分間安静(就寝)とさせた。
- 心理申告は次ページの心理申告票を用いた。心理申告のタイミングは以下の3回とした。
① 実験室入室前(恒温恒湿室外:室温 $23^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$)
② 就寝直後(恒温恒湿室内)
③ 就寝45分後(恒温恒湿室内)
- 心理申告は、全身の快適感と温冷感および身体各部位の温冷感に関して、100mmの線上に印をつけてもらい、0~100の値を読み取った。
- 身体各部位ごとの快適感については、不快 or 快適の2択から選んでもらった。
- 実験条件は表3の通りであるが、電気あんか、電気敷毛布については就寝30分前から電源をONにし、寝具を温める器具として用いた。
- エアコンも就寝30分前より運転させる状況を想定した。恒温恒湿室ではエアコンの測定ができないため、エアコンの消費電力量については、被験者試験とは別に住宅用環境実験棟(外気 $7^{\circ}\text{C}\cdot 50\%RH$)にて実験条件と同等の室温になるような設定温度で運転・測定した。
- 被験者試験のフローチャートは図3の通りである。

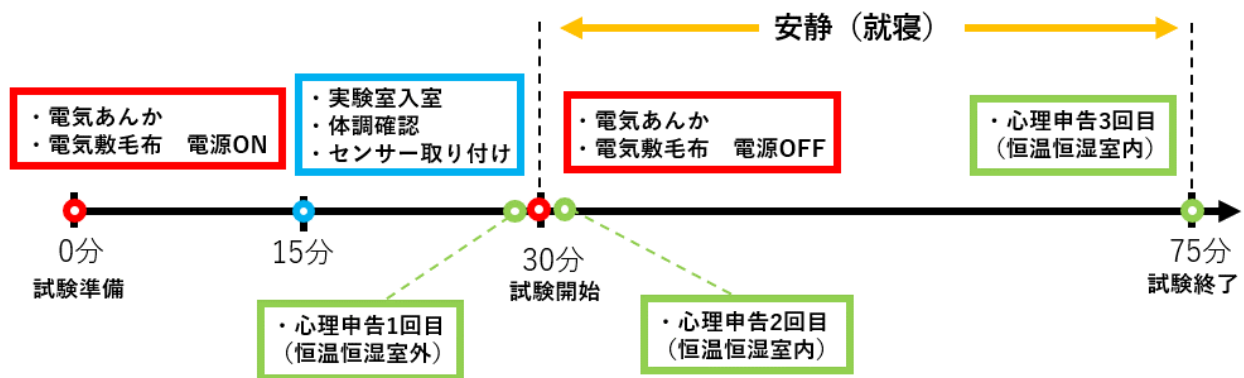
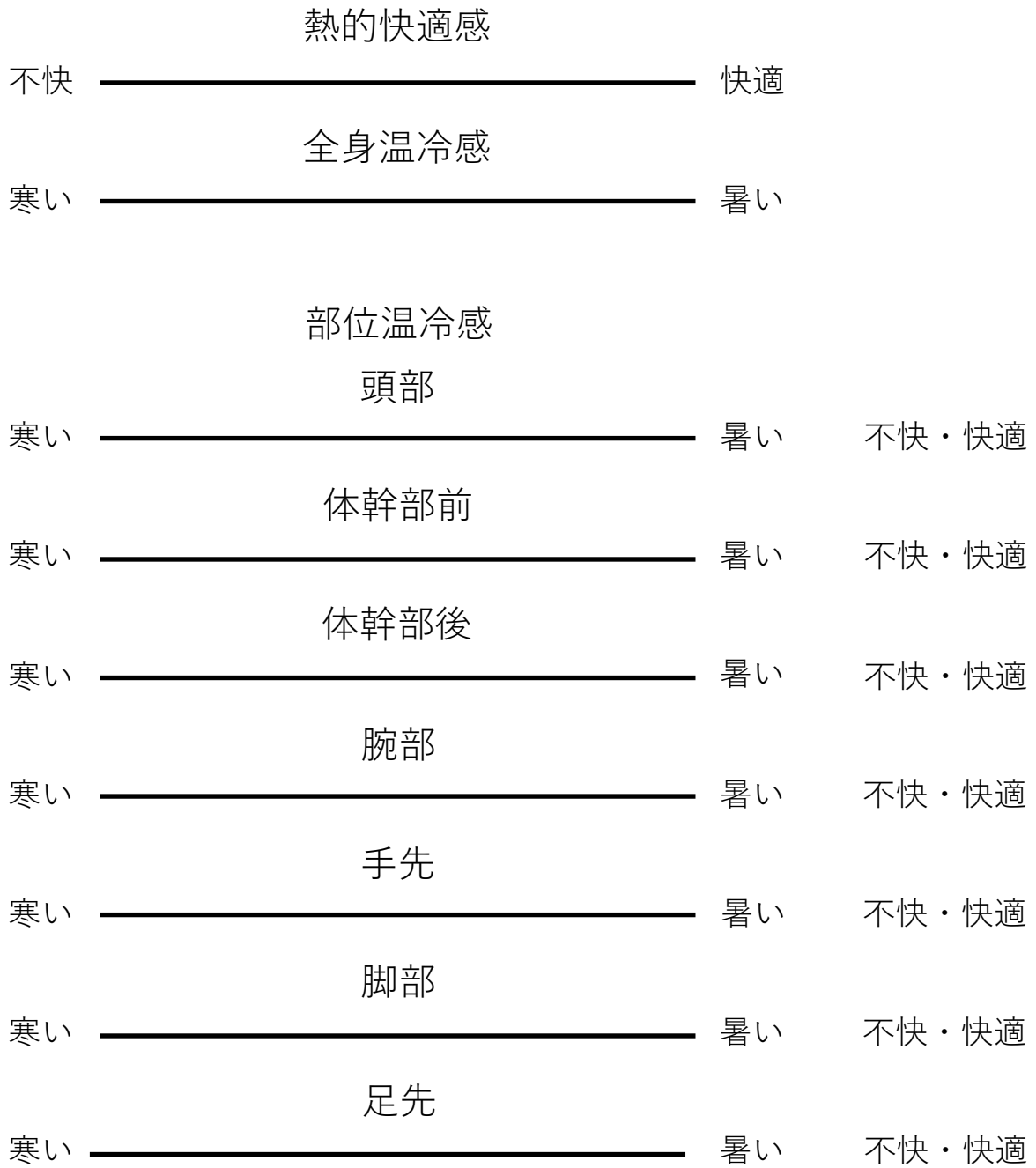


図 3. 被験者試験のフローチャート図

入室前 入眠直後 入眠45分後



(3) 実験結果

ア 合掛け布団に肌掛け布団および毛布を追加することによる省エネ効果と快適性の変化について

実験条件①②③において、恒温恒湿室入室前、就寝直後、就寝45分後における快適感と全身温冷感の申告結果の平均値をプロットしたものを図4,5に、就寝後45分間の被験者5名の平均皮膚温の平均値をプロットしたものを図6に、各条件におけるエアコンの消費電力量を図7に示す。また、就寝45分後における全身各部位の温冷感を表4に示す。

- ・ 快適感はいずれの条件においても、就寝後に上昇し、合掛け布団のみ（室温 20℃）の場合が最も快適感が高い結果となったが、+肌掛け布団（室温 18℃）、+肌掛け布団&毛布（室温 14℃）の条件においても快適側の評価となる。
- ・ 全身温冷感、室温 23℃ から恒温恒湿室内（室温 20℃～14℃）に入ること、寒い側の評価である 50 pt 以下となる。その後、45 分間の就寝を経て、合掛け布団のみ（室温 20℃）の場合と、+肌掛け布団（室温 18℃）の条件においては暖かい側の評価となる。
- ・ 平均皮膚温は、就寝から 15 分間で約 1.4℃上昇する。肌掛け布団を追加することで、室温を 2℃下げても平均皮膚温は保たれる。室温を 6℃下げて、肌掛け布団&毛布を追加した場合は、合掛け布団のみ（室温 20℃）の場合よりも約 0.5℃平均皮膚温は低くなった。
- ・ エアコンの消費電力量は一回の就寝（就寝 7 h + 事前運転 0.5 h の計 7.5 h）あたり、設定温度を 2℃下げることで 0.24 kWh（▼6.4%）の省エネに、設定温度を 6℃下げることで 1.09 kWh（▼28.5%）の省エネとなる。
- ・ 各部位ごとの温冷感は、室温が下がるごとに減少傾向にある。これは、大気に曝露している頭部や身体末端部である手先・足先の温冷感が下がったことで、全身や他の部位における温冷感にも影響を与えたことが推測される。

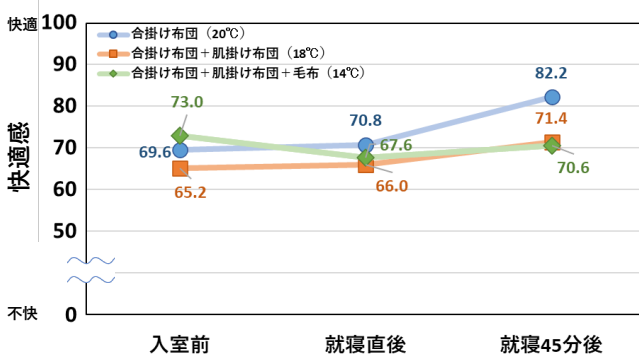


図 4. 快適感の平均をプロットした図

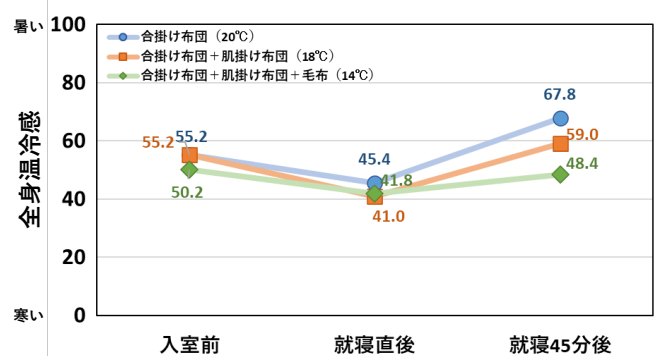


図 5. 全身温冷感の平均をプロットした図

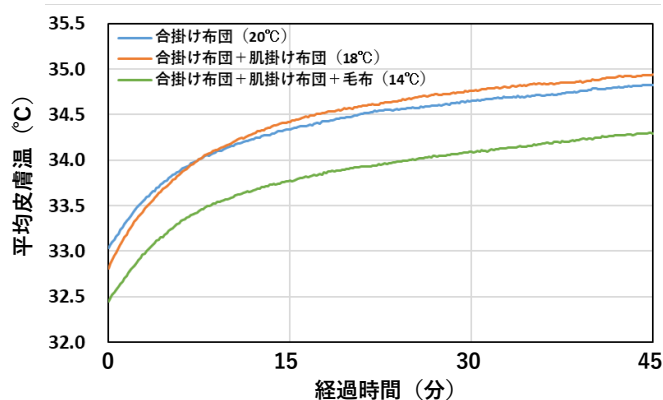


図 6. 平均皮膚温の経時変化

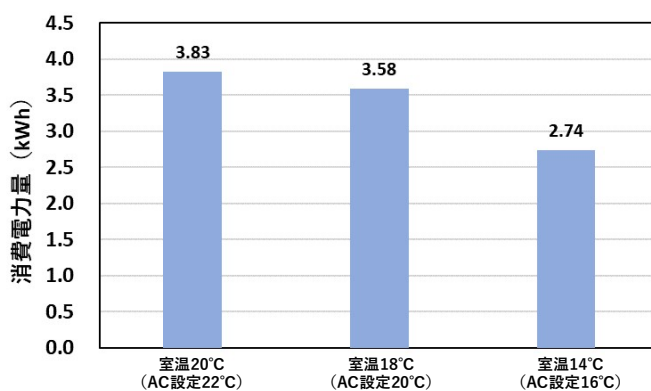


図 7. 1 回の就寝 (計 7.5 h 想定) あたりの AC の消費電力量。なお、AC 運転 30 分後における室温が実験条件と同等となるような設定としてある。

表 4.各部位ごとの温冷感の申告結果

	全身	頭部	体幹前	体幹後	腕	手先	脚部	足先
条件①	68	56	68	70	60	64	65	49
条件②	59	51	59	64	57	55	61	54
条件③	49	42	51	53	52	45	53	41

イ 電気あんかおよび電気敷毛布の活用による省エネ効果および快適性の変化について

(ア) 被験者 5 名の平均値での比較

実験条件①④⑤において、恒温恒湿室入室前、就寝直後、就寝 45 分後における快適感と全身温冷感の申告結果の平均値をプロットしたものを図 8,9 に、就寝後 45 分間の被験者 5 名平均皮膚温の平均値をプロットしたものを図 10 に、各条件におけるエアコンの消費電力量を図 11 に示す。また、就寝 45 分後における全身各部位の温冷感を表 5 に示す。

- ・室温を 6°C 下げて電気あんかを使用した場合、就寝～45 分後にかけて快適感は一時的に上昇し、合掛け布団のみ (20°C) の場合と、快適感にさほど変わらない。
- ・電気敷毛布を使用した場合、快適感は一時的に低下するが就寝 45 分後においても、快適側 (50 pt 以上) の評価である。
- ・電気敷毛布を使用することで、就寝直後の温冷感の低下を抑えることができる。快適感の低下は、他条件に比べて、平均皮膚温が高かったことから、“暑くて不快”という評価になったことが推測される。なお、1 名の被験者のみ手先や足先の温冷感の低下による快適感の低下 (“寒くて不快”) を申告していたため、他条件と同等の温冷感にもかかわらず快適感は低い結果となっている。
- ・平均皮膚温は就寝～45 分後までに、合掛け布団 (20°C) で約 1.8°C、電気あんか (14°C) の場合で約 2.0°C、電気敷毛布 (14°C) の場合で約 1.9°C 上昇する。
- ・消費電力量は、電気あんかと電気敷毛布のいずれもエアコンの消費電力量に比べてかなり少なく、合掛け布団 (20°C) の場合よりも、電気あんか (14°C) の場合で 1.08 kWh (▼28.2%) 電気敷毛布 (14°C) の場合で 1.07 kWh (▼27.9%) の省エネとなる。
- ・電気あんかを用いることで、足先の温冷感が一時的に上昇、電気敷毛布を用いることで頭部と足先を除いた部

位の温冷感が上昇する。これによって、全身温冷感は合掛け布団（20℃）とほぼ同程度の値となる。

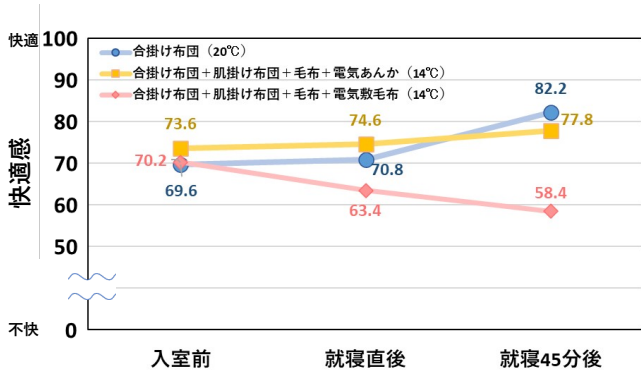


図 8. 快適感の平均をプロットした図

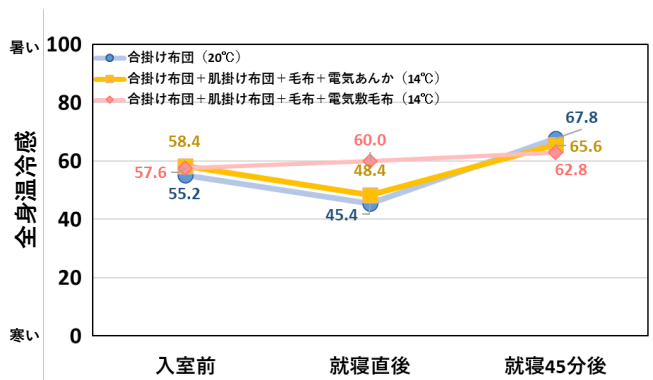


図 9. 全身温冷感の平均をプロットした図

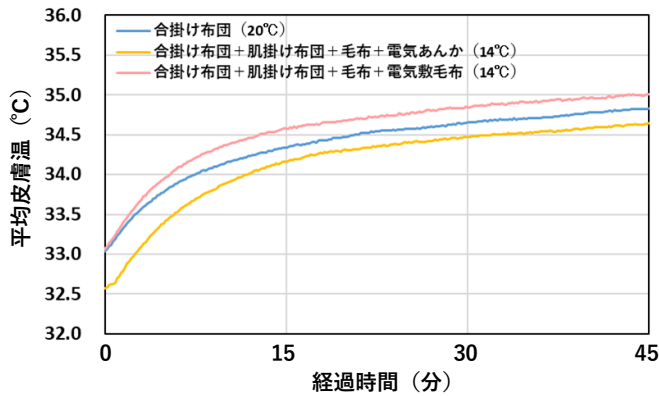


図 10. 平均皮膚温の経時変化

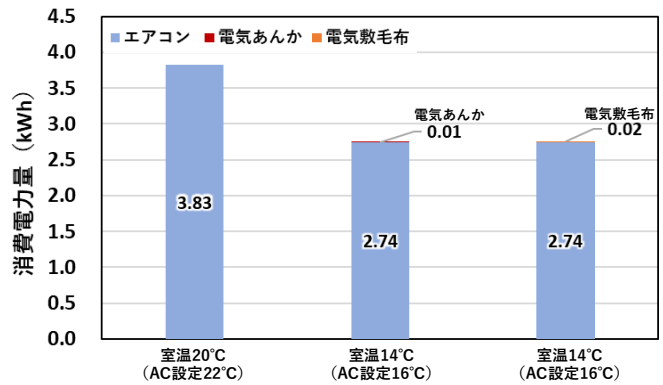


図 11. 1 回の就寝（計 7.5 h 想定）あたりの AC・電気あんか・電気敷毛布の総消費電力量。あんかと毛布は事前運転の 30 分間での消費電力量。

表 5. 各部位ごとの温冷感の申告結果

	全身	頭部	体幹前	体幹後	腕	手先	脚部	足先
条件①	68	56	68	70	60	64	65	49
条件④	66	58	57	59	55	52	63	62
条件⑤	63	52	59	67	62	58	64	53

(イ) 冷え性と申告した被験者3名の平均での比較

全5条件における全身各部位の温冷感の平均値と偏差を図12と表6に示す。また、5名の被験者のうち予め“冷え性”と申告した3名の快適感と全身各部位の温冷感の平均値を表7に示す。

- ・部位温冷感のばらつきは、身体末端部である手先と足先において特に顕著である。また、脚部や足先の温冷感に関しては、電気あんか(14℃)の条件において、ばらつきがかなり小さくなっている。これは個人の冷え性といった体質が影響していると推測される。
- ・冷え性と申告した被験者においては、電気あんか(14℃)を用いることで足先の温冷感だけでなく、手先や頭部、全身の温冷感が大きく上昇している。また、快適感は全条件の中で最も高い値となった。このことから冷え性の体質を持つ人は、電気あんかを使用するなど、身体末端部を局所的に温めることが就寝時において特に有効である。

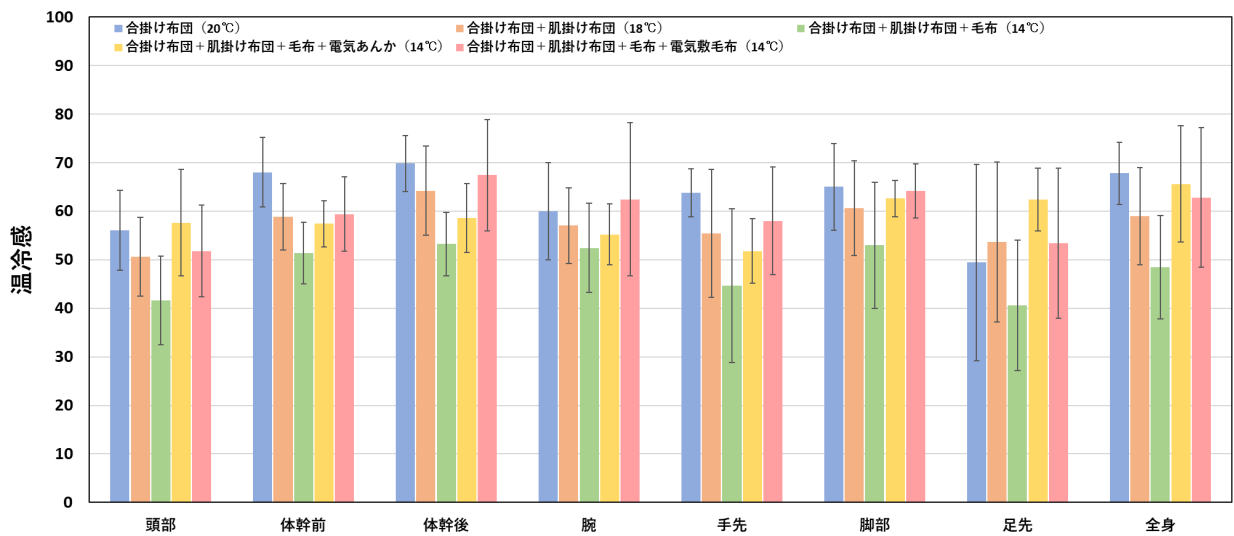


図 12. 各条件における各部位温冷感の被験者平均

表 6. 各条件における各部位温冷感の被験者平均と標準偏差

	条件	頭部	体幹前	体幹後	腕	手先	脚部	足先	全身
平均温冷感	条件①	56.0	68.0	69.8	60.0	63.8	65.0	49.4	67.8
	条件②	50.6	58.8	64.2	57.0	55.4	60.6	53.6	59.0
	条件③	41.6	51.4	53.2	52.4	44.6	53.0	40.6	48.4
	条件④	57.6	57.4	58.6	55.2	51.8	62.6	62.4	65.6
	条件⑤	51.8	59.4	67.4	62.4	58.0	64.2	53.4	62.8
標準偏差	条件①	8.2	7.2	5.7	10.0	5.0	8.9	20.2	6.4
	条件②	8.1	6.8	9.1	7.8	13.2	9.8	16.5	10.0
	条件③	9.1	6.3	6.5	9.2	15.8	13.0	13.4	10.6
	条件④	10.9	4.8	7.1	6.3	6.7	3.7	6.4	12.0
	条件⑤	9.4	7.7	11.5	15.8	11.1	5.6	15.5	14.4

表 7. “冷え性”と申告した被験者 3 名の快適感と温冷感の申告結果

	快適感	温冷感							
		全身	頭部	体幹前	体幹後	腕	手先	脚部	足先
条件①	77	69	55	67	68	63	66	62	42
条件②	73	60	52	55	59	55	51	56	50
条件③	76	54	43	52	54	57	46	59	39
条件④	82	65	57	58	60	54	53	62	62
条件⑤	54	60	47	57	67	59	60	66	53

4. まとめ

本実験では、摂南大学の恒温恒湿室における被験者試験により、肌掛け布団・毛布の使用や、電気あんか・電気敷毛布を用いて寝具を温めることによる就寝時の快適性と省エネ効果について以下の知見を得た。

- (1) 合掛け布団に肌掛け布団および毛布を追加することによる省エネ効果と快適性の変化について
- ・室温を 2°C 下げて肌掛け布団を使用することや、6°C 下げて肌掛け布団&毛布を使用することで、就寝から 45 分後の快適感は 50 pt 以上（快適側）の評価となる。
 - ・エアコンの消費電力量は、1 回の就寝当たり（就寝 7h+事前運転 0.5h の計 7.5h）、設定温度を 2°C 下げることによって 0.24 kWh（▼6.4%）の省エネに、設定温度を 6°C 下げることによって 1.09 kWh（▼28.5%）の省エネとなる。

- (2) 電気あんかおよび電気敷毛布の活用による省エネ効果および快適性の変化について

ア 被験者 5 名の平均値での比較

- ・室温を 6°C 下げて電気あんかを使用した場合、就寝～45 分後にかけて快適感は上昇し、合掛け布団のみ（20°C）の場合と、快適感はさほど変わらない。
- ・電気敷毛布を使用することで、就寝直後の温冷感の低下を抑えることができる。寝具に入った直後の一時的な温冷感の低下を防ぐことや、頭部を除いた身体を平均的に暖めたい場合において電気敷毛布は有効である。就寝後、“暑くて不快”と感じる恐れもあるため、必要に応じて寝具の調整（肌掛け布団を使用しないなど）を行うと、より快適性の向上が期待される。
- ・消費電力量は、電気あんかと電気敷毛布のいずれもエアコンの消費電力量に比べてかなり少なく、合掛け布団（20°C）の場合よりも、電気あんか（14°C）の場合で 1.08 kWh（▼28.2%）電気敷毛布（14°C）の場合で 1.07 kWh（▼27.9%）の省エネとなる。

イ 冷え性と申告した被験者 3 名の平均での比較

- ・皮膚温や部位温冷感のばらつきは、身体末端部である手背（手先）と足背（足先）において特に顕著である。また、脚部や足先の温冷感に関しては、電気あんか（14°C）の条件において、ばらつきがかなり小さくなっている。これは個人の冷え性といった体質が影響していると推測される。
- ・冷え性と申告した被験者においては、電気あんか（14°C）を用いることで足先の温冷感だけでなく、手先や頭部、全身の温冷感が大きく上昇している。また、快適感は全条件の中で最も高い値となった。このことから冷え性の体質を持つ人は、電気あんかを使用するなど、身体末端部を局所的に温めることが就寝時において特に有効である

定量的な結果については、寝具の素材や性能、室内および寝具内環境に対する個人の感じ方や個人の体質などの条件で変わってくる。今回の結果は、事前検討をもとに設定した条件下で試行した一例である。

また、過度に設定温度を下げることや、電気あんか・電気敷毛布を就寝時に高設定のまま運転させておくことなどは、ヒートショックや低温やけど等の症状を引き起こす恐れがあるため、注意が必要である。

謝辞 本報告書の執筆にあたり、サーマルマネキンによる事前検討や被験者試験の実施、データ分析のご指導など、摂南大学 理工学部 建築学科 教授 宮本征一博士（工学）に感謝申し上げます。