

Vol. 19
Mar. 2022

目次

論文

断面積が変化する棒を伝播する応力波 木原幸一郎, 若海真緒, 渡邊慧之, 吉田 瞬	3
--	---

ブラックホール形成における自由エネルギーの連続性について 関野恭弘, 鈴木康夫	9
--	---

研究速報

視覚的アプリ弱者のためのカスタマイズユーザインターフェースの提案 ～初期カスタマイズ機能を擁した証明書申請補助アプリでの検証～ 崔 烘碩, 森岡大輔	19
--	----

展望・解説

家具の材質と構造の違いによる転倒時の衝撃比較 白石照美, 阿部眞理, 森岡大輔, 遠藤和磨, 大久保恭利	27
---	----

抄録

寒地北海道における水稲への尿素の側条施肥 岡田佳菜子, 佐藤佑樹, 河合 輝, 角田憲一	35
---	----

研究所所員及び研究課題一覧.....	39
--------------------	----

研究活動一覧・他.....	47
---------------	----

論文

FULL PAPERS

断面積が変化する棒を伝播する応力波*

Stress waves to propagate a bar with thin part.

木原幸一郎 Koichiro KIHARA**

若海 真緒 Mao WAKAUMI***

渡邊 慧之 Keisuke WATANABE****

吉田 瞬 Shun YOSHIDA*****

Abstract

We studied the stress wave propagation in a round bar whose cross section became gradually smaller. First, we made a stepped round bar that has the average diameter of the gradually changing part. The stress waves in this stepped bar were measured by an experiment. And the stress waves in the stepped bar were calculated by the theory of one dimensional stress waves. The both stress waves accorded well. The stress waves propagation in this stepped bar obeys the theory of one dimensional stress waves. Then, we actually made a round bar whose cross section gradually changed. As experimental results, reflection and transmission waves occur in the part that cross section gradually changes. Shapes of the stress waves of the stepped bar were compared with those of the gradually changing bar. As the results, it was necessary for the length of the stepped part in stepped bar to be averaged. The stress wave in the stepped bar of the average length was calculated by the theory. These calculated results were in accord with the experimental results of the gradually changing bar. As the above results, the stress waves propagate in the gradually changing bar can be calculated by using the theory of one dimensional stress waves with the stepped bar which is similar to the gradually changing bar.

Keywords: Impact, Stress waves, Hopkinson bar

1. 緒言

多くの接着剤は粘性を持つため、負荷速度によりその強度は変化することが多い。しかし、通常は静的な引張せん断強度のみが求められ、動的負荷や衝撃負荷下の強度が求められることはほとんどない¹⁾。現在、接着剤は様々な箇所に用いられており、多くの場合、実際の品物に負荷を加えて、その強度を確認している。より広く安全性の確認を行うためには、接着剤の強度について負荷速度の影響も確認しておく必要がある。著者らは接着剤の強度としてより重要と考えられる引張強度について、静的負荷下のみでなく、動的、衝撃負荷下の強度測定方法を提案してきた^{2,3)}。また、接着剤の多くは高温下での強度低下が激しいため、高温下における接着剤の衝撃引張強度の測定方法なども提案してきた⁴⁾。この方法はホプキンソン棒法を応用しているが、応力波を測定する半導体ひずみゲージが高温に耐えられないため、接着接合部付近のみを高温炉内に入れ、測定部は炉外に置いている。従って、炉へ入射する初期入射応力波の最大値や炉外へ透過してくる透過応力波の最大値から、炉内で重畳した応力波の最大値を算出する必要がある。そこで、この応力波の最大値の計算を容易にするため、炉外と炉内とで温度が急激に変化すると仮定していた⁴⁾。接着接合を用い、かつ、ある程度の高温下に置かれる被着体材料としては金属が考えられるが、被着体が金属の場合、実際には炉内と炉外の境界付近で、その温度は比較的緩やかに変化していくと考えられ、温度が急激に変化するとした仮定が成立せず、重畳した応力波の最大値の算出

値も正確ではない可能性がある。このため、境界域で温度が緩やかに変わる場合の炉内の応力波の最大値を算出する方法について確認する必要がある。しかし、半導体ひずみゲージの使用可能温度の範囲(最大150℃)では金属の性質の変化はごくわずかであり、ある断面で急激に体積や縦弾性係数が変わると仮定しても応力波の反射率は炭素鋼の場合で0.5%程度である⁵⁾。実際には徐々に体積や縦弾性係数が変わっていくため、さらに小さな反射波が徐々に重畳していくことになる。この結果、炉内外での応力波の大きさの変化はほとんどなく、算出方法の確認が十分できない。

応力波の大きさは、応力波がホプキンソン棒を伝播していく過程で反射や透過、減衰を生じるために変化する⁶⁾。このうち、反射と透過については、応力波が伝播する材料の縦弾性係数、密度および断面積によって決まる^{7,8,9)}。接着接合部が置かれる環境の温度が測定部の温度と異なるとこの間で材料の縦弾性係数と密度が変化するため、応力波の反射と透過が生じる。理論上は応力波の大きさの変化に関して、温度変化により縦弾性係数および密度が変化することと、材料の断面積が変化することは同じである⁷⁾。温度を室温から150℃に上昇させても応力波は0.5%程度しか反射しないが、例えば断面積を10%程度に減少させれば80%程度の応力波を反射させることができる。そこで、温度の代わりに、試験片の断面積を緩やかに変化させることにした。本研究では断面積が徐々に変化する丸棒の実験値とこれを単純化した段付き丸棒の実験値および一次元弾性波理論を用いた計算値について取り扱う。すなわち断面積の大きさと応力波の大きさの関係を実験と一次元弾性波理論を用いた計算の両面から検討することで、緩やかに断面積が変化する場合の応力波の大きさの算出方法について調べた。

* 原稿受付 2021年10月21日

** 拓殖大学工学部機械システム工学科

*** 拓殖大学工学部機械システム工学科 2019年度卒業生

**** 拓殖大学工学部機械システム工学科 2020年度卒業生

***** 職業能力開発総合大学校

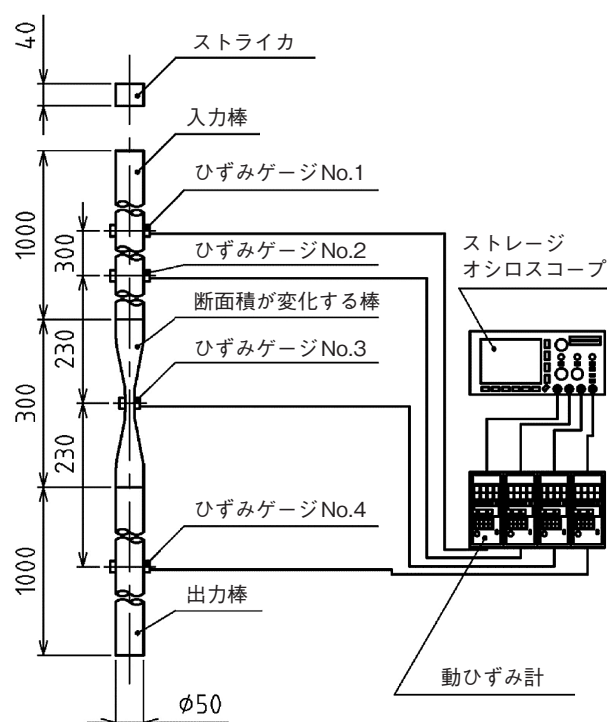


図1 試験装置の概略図

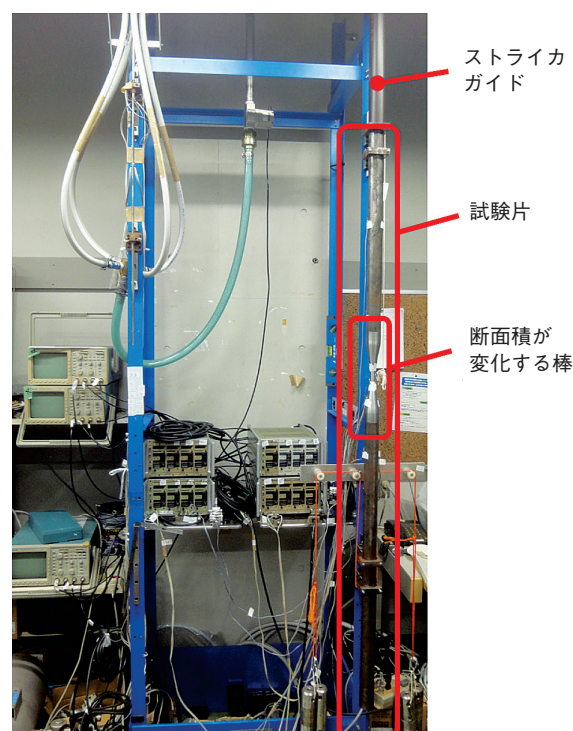


図2 試験装置

2. 試験方法

2.1 試験片および試験装置

試験装置の概略図を図1に、試験装置の全体写真を図2に示す。試験片は上下にある直径50mmの入出力棒と中央の断面積が変化する棒の3本から構成されており、これらはねじにより締結している。試験片の材料は機械構造用炭素鋼S45Cとした。また、試験片は上下に動くスライドレールにゴムを介して固定し、おもりと滑車により宙に浮いた状態とする。試験片の上部にはガイドパイプとストライカが設置されており、ストライカを自由落下させて、入力棒に衝突させることにより、試験片に衝撃負荷を加える。ストライカは入力棒と同材料、同直径で、長さは40mmとした。試験片には半導体ひずみゲージを貼付した。貼付位置に生じるひずみの値を電圧値としてシグナルコンディショナで増幅し、デジタルストレージオシロスコープに記録する。測定したひずみ値に試験片の縦弾性係数を乗じることにより、試験片に伝播する応力波の大きさを算出する。

試験片中央に接続する断面積が変化する棒の形状と寸法は図3に示す。図3(a)は緩やかに断面積が変化する丸棒（以下、緩やかに変化する棒と呼ぶ）である。中央の最も断面積が小さい部分（以下、最小部と呼ぶ）の直径は16.5mm、長さ30mmであり、半径100mmのフィレットにより緩やかに両側のテーパ部へ接続している。また、テーパ部と直径50mmの入出力棒と同じ面積の部分との間も半径100mmのフィレット

により、緩やかに接続した。断面積が変化した始めてから元に戻るまでの距離は240mmとした。このため、テーパ部の角度はおよそ22.1°である。緩やかに変化する棒を用いた試験片は断面積が変化する面が無限にあり、一次元弾性波理論を用いて応力波の伝播を算出することが困難である。そこで、一次元弾性波理論で応力波の伝播を計算することが可能な有段の段付き棒を用意することにした。また、段数が増加すると反射波の数が増え、さらに、段の間隔が短くなることで一定時間内に反射および透過する応力波の数も増加して計算が困難になる。この点を考慮し、本研究では最小限である5段の段付き丸棒を用意した。段付き丸棒の形状と寸法を図3(b)に示す。最小断面積の部分（最小部）は緩やかに変化する棒とほぼ同様の直径16.5mm、長さ35mmとした。この最小部と両側の中間断面積の部分（以下、中間部と呼ぶ）を合わせた長さは、緩やかに変化する棒の断面積が変化する部分の長さと同じ240mmとし、中間部の長さは図3(b)の図で左側が105mm、右側は100mmとした。最小部の長さが5mm長く、右側の中間部が左側より5mm短くなっている理由は、段付き丸棒の中央面から、最小部と中間部間の段付き部の面（以下、段付き面と呼ぶ）までの距離を左右で変えることにより、理論計算の際、左右どちらを通ってきた波かわかりやすくするためである。すなわち、中央面から段付き面までの距離について、左側より右側を長くすることにより、右側から反射して戻る波の方が、左側で反射して戻る波より長くなり、波の

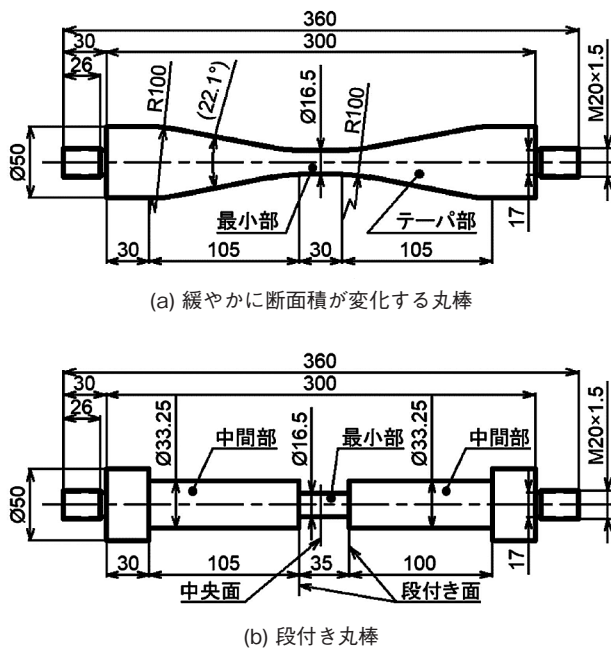


図3 断面が変化する棒の形状と寸法（横向き）

動きがわかりやすくなる。ただし、実際には応力波の立ち上がりに数十 μs かかることが多く、5mmの差は往復で2 μs の差にしかならないため、実験結果ではこの差はほとんど表れないと考えられる。なお、中間断面積部分の直径は緩やかに断面積が変化する丸棒のテーパ部分の中間位置の直径に等しい33.25mmとした。

ひずみゲージの貼付位置は図1に示したように緩やかに変化する棒、および段付き丸棒どちらの場合も、それらの中央面を基準に上下230mmとした。また、上側は断面積が変化する部分に最初に入射する初期入射応力波の大きさを確実に測定する必要があるため、上部、入力棒側のひずみゲージ貼付位置からさらに300mm上方にもひずみゲージを貼付した。上から順にNo.1～4とし、No.3が中央面、すなわち最小部の応力波の大きさを測定する位置である。

2.2 理論波形

理論波形は一次元弾性波理論により算出した。一次元弾性波理論では応力波の伝播速度 c_0 は式(1)により算出できる。

$$c_0 = \sqrt{E/\rho} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 E は縦弾性係数、 ρ は密度であり、本報告で用いた炭素鋼S45Cの場合、縦弾性係数 $E=205\text{GPa}$ 、密度 $\rho=7.85\text{kg/m}^3$ である。従って、試験片を伝播する応力波の伝播速度は、およそ $C_0=5.1\text{m/s}$ である。

段付き面での反射率 α と透過率 β はそれぞれ式(2)と式(3)で

求められ、これらに段付き面に入射する応力波の大きさを乗じることで、反射波および透過波の大きさを求めることができる。

$$\alpha = \frac{A_2 \times \sqrt{E_2 \times \rho_2} - A_1 \times \sqrt{E_1 \times \rho_1}}{A_2 \times \sqrt{E_2 \times \rho_2} + A_1 \times \sqrt{E_1 \times \rho_1}} \quad \dots\dots (2)$$

$$\beta = \frac{2 \times A_1 \times \sqrt{E_2 \times \rho_2}}{A_2 \times \sqrt{E_2 \times \rho_2} + A_1 \times \sqrt{E_1 \times \rho_1}} \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 A は断面積を表しており、添え字の1, 2はそれぞれ応力波の入射側と透過側を示している。本報告の場合、丸棒を切削加工して作製した段付き部の材料は当然、同じであるため、 E_1 と E_2 および ρ_1 と ρ_2 は等しく、式(2)と(3)は A_1 と A_2 のみの式に簡略化される。

一次元弾性波理論を用いた研究で行われる実験では、式(1)を満足するため、比較的直径の小さい試験片が用いられることが多い⁴⁾。本報告で入出力棒に用いる直径50mmでも、式(1)が成立することを確認するため、入力棒の2箇所、No.1とNo.2の位置に貼付したひずみゲージにより測定される応力波形と理論により算出された応力波形について予備実験を行い比較した。

比較結果を図4に示す。縦軸が応力波の大きさ、横軸が時間である。横軸はストライカの衝突により発生する初期応力波が位置 No.1に達した時刻を0sとして、時間軸の基準とした。実験による応力波（太線）の立ち下がりにかかる時間はおよそ30 μs で、一般的なホプキンソン棒を用いた衝撃試験³⁾の立ち下がり時間に比べると数倍長くなっている。これは、ストライカと入出力棒の直径が大きく、面の一部が衝突してから面全体が衝突するまで時間がかかるためと考えられる。この立ち下がり時間は応力波の理論的な持続時間（ストライカ長さ40mmと応力波の伝播速度 c_0 より、およそ16 μs ）に比べて長く、実験による応力波形と理論波形の立ち下がり始め

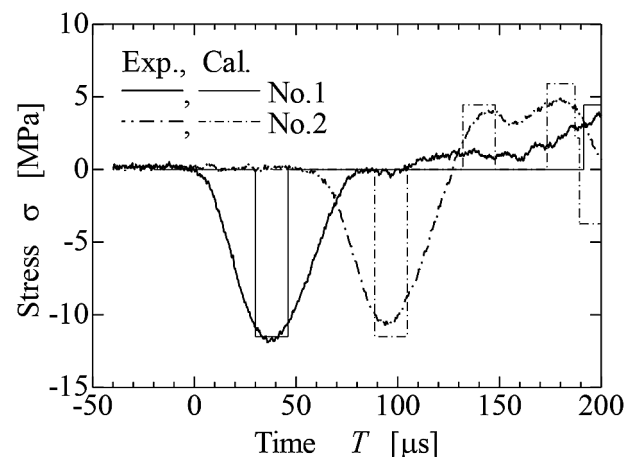


図4 ひずみゲージ貼付位置による応力波形の比較

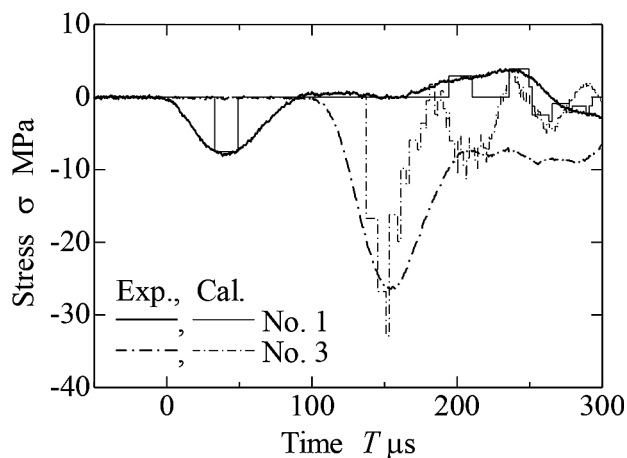


図5 入射応力波形と最小部の応力波形（段付き丸棒）

る時刻を一致させると分かりにくくなる。このため、理論波形（細線）は実験による応力波形の立ち下がり時間分遅らせて表示している。また、理論波形の初期入射応力波の大きさはひずみゲージの貼付位置No.1で測定された初期入射応力値の大きさとした。位置No.1, No.2の実験による応力波形（それぞれ、実線と一点鎖線で示す）はその大きさ、持続時間ともほぼ一致しており、また、その時間的な差は理論波形の差と一致している。従って、本実験で用いた直径50mmの丸棒でも一次元弾性波理論を適用できると考えられる。なお、位置No.2では、段付き部からの反射応力波が比較的早く戻るため、立ち下がりに時間がかかる今回のような波形では、この反射波が入射応力波と重なり見た目の入射応力波の大きさに影響する。位置No.2で測定された入射応力波の大きさが、位置No.1で測定される値に比べてやや小さいのはこのためと考えられる。そこで、本実験では初期入射応力波の測定位置として位置No.1を用いることにした。

3. 実験結果

3.1 段付き丸棒を用いた試験片

段付き丸棒を用いて試験片を組み立て、実験を行った。ひずみゲージ貼付位置No.1とNo.3で測定された応力波形と同位置について算出した理論波形を図5に示す。位置No.1で実験により得られる応力波形は太い実線、同位置の理論波形は細い実線で示した。入射応力波の大きさはおよそ8MPaで、ストライカを自由落下させている本装置では通常の値である。ひずみゲージ貼付位置No.1で時刻 $T=160\mu\text{s}$ 頃に、測定される反射波の立ち上がる時刻、大きさおよび持続時間は一次元弾性波理論による理論波形とほぼ一致しており、予測通りの結果である。位置No.3で測定される応力波形は太い一点鎖線、理論波形は細い一点鎖線で示している。理論波形では一時的に非常に低い値が生じているが、実験による波形ではこ

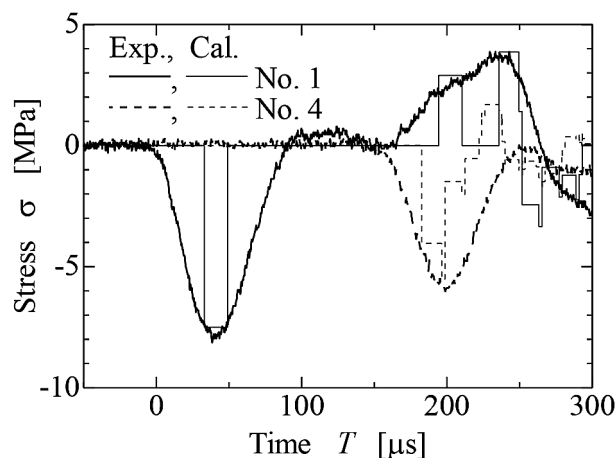


図6 入射応力波形と出力棒の応力波形（段付き丸棒）

のような低い値は見られない。これは理論波形持続時間が短いため、立ち下がりに時間がかかる実験では追従できていないためであると考えられる。従って、一次元弾性波理論から応力波形を予測する場合は、持続時間も考慮に入れなければならないと考えられる。このような一時的に生じる極端な値を除けば、位置No.3についても、理論波形と実験による応力波形はよく一致しており、本研究で用いた段付き丸棒についても、入力棒（位置No.1）の応力波形とその大きさから最小部（位置No.3）の応力波の大きさを予測できる。図6に位置No.1と出力棒側の位置No.4の応力波形（それぞれ、実線と破線で示す）。持続時間が短いことを考慮すれば位置No.4の実験による応力波形の大きさは理論波形の大きさに比べて大きい。これは、試験片の形状を多少変えた場合も同様の傾向が得られており、今後も検討する必要がある。

3.2 緩やかに断面積が変化する丸棒を用いた試験片

緩やかに変化する棒を用いて試験片を組み立て、実験を行った。ひずみゲージ貼付位置No.1とNo.3で測定された応力波形を図7にそれぞれ、実線と一点鎖線で示す。比較のために段付き丸棒の実験により得られた応力波形も細線で示した。入射応力波形はできるだけ同じ形状、大きさになるよう調整した。位置No.1で $T=160\mu\text{s}$ 付近から測定される段付き部からの反射波は段付き丸棒では小さな2つの波が測定されたが、緩やかに変化する棒では一つの大きな波が測定された。また、緩やかに変化する棒の最小部、位置No.3で測定される応力波の大きさは段付き棒の応力波の大きさに比べて小さく、また持続時間が少し長めになる。次に、ひずみゲージ貼付位置No.1とNo.4で測定された応力波形を図8に示す。位置No.4についても位置No.3と同様、緩やかに変化する棒は段付き丸棒に比べて、応力波の値は小さく、持続時間が少し長くなる。本結果から、段付き丸棒は緩やかに変化する棒の

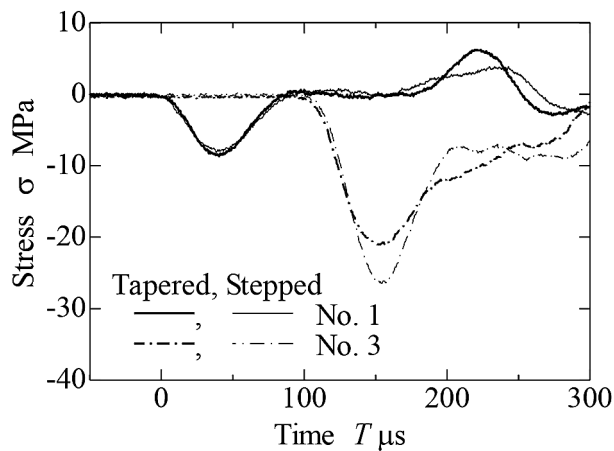


図7 緩やかに変化する棒と段付き丸棒の応力波形の比較
(入射応力波形No.1と最小部の応力波形No.3)

テーパ部およびフィレット部の断面積を単純に平均して作製したが、面積が変化する部分すべてを単純に平均化しただけの段付き棒では、緩やかに変化する棒で生じる応力波形と同様の応力波形を観測することはできない。

3.3 緩やかに変化する棒の段付き棒への近似方法

緩やかに変化する棒のフィレット部を含めたテーパ部全体の直径を単純に最小部と入出力棒の直径の平均値として段付き丸棒を作製した場合、その反射波と透過波は緩やかに変化する棒で得られる応力波と一致しなかった。測定位置No.1で測定される反射波は図8に示したように、緩やかに変化する棒の場合、段付き丸棒の反射波に比べて遅めに反射し、持続時間も短い。これは、緩やかに変化する棒において、段付き丸棒の中間部に相当する部分が短いためと考えられる。そこで、中間部の長さについても平均化することにした。段付き部の長さを調整した段付き棒を図9に示す。平均化の方法

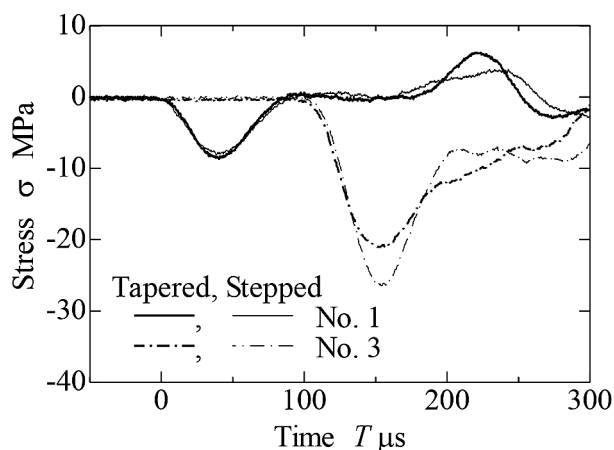


図8 緩やかに変化する棒と段付き丸棒の応力波形の比較
(入射応力波形No.1と出力棒の応力波形No.4)

としては、図9の斜線で示したように、緩やかに変化する棒から段付き棒に変更することで増加あるいは減少する体積が、段付き面の逆側で減少あるいは増加する体積と一致するように調整した。この中間部の長さを調整した段付き丸棒について、一次元弾性波理論により理論波形を求めた。求めた理論波形と緩やかに変化する棒により得られた応力波形を共に図10に示す。理論波形の初期入射応力波の大きさは緩やかに変化する棒の初期入射応力波の大きさに合わせた。位置No.3で

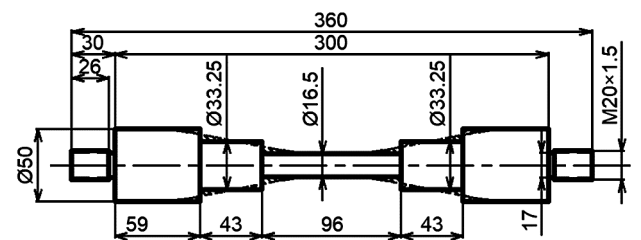


図9 段付き部の長さを調整した段付き丸棒の形状と寸法

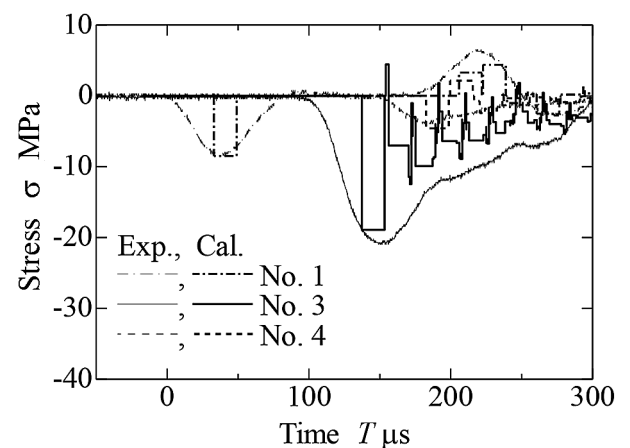


図10 緩やかに変化する棒の実験結果と長さを調整した段付き丸棒の理論応力波形との比較

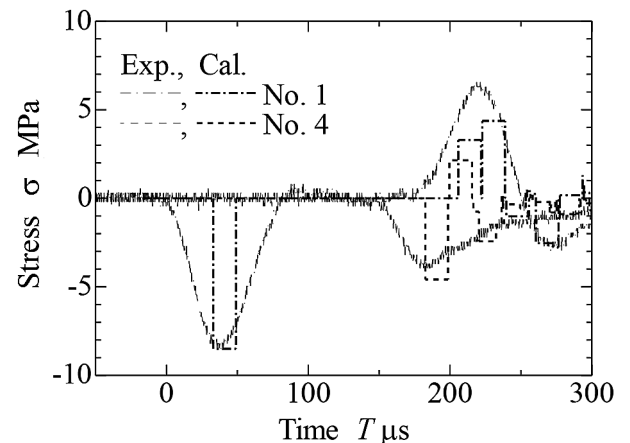


図11 緩やかに変化する棒の実験結果と長さを調整した段付き丸棒の理論応力波形との比較 (入射応力波形と出力棒の応力波形)

示される最小部の応力波形は理論波形が若干小さいものの、その形状はよく一致している。波が重なってわかりにくい図11に位置No.1, および位置No.4の応力波形を示す。理論波形が $T=180\mu\text{s}$ 付近から立ち下がる位置No.4での応力波形は段付き丸棒の理論波形と滑らかに変化する棒の実験による応力波形が比較的良好に一致しており、また、 $T=200\mu\text{s}$ 秒付近から立ち上がる位置No.1での応力波形についても、理論値がわずかに低いものの、その形状はよく一致している。従って、緩やかに変化する棒を伝播する応力波の波形を段付き丸棒と一次元弾性波理論により予測することができる。

4. 結言

本研究では温度の代わりに、試験片の断面積を緩やかに変化させ、断面の大きさと応力波の大きさの関係を実験と計算の両面から検討することで、緩やかに断面積が変化する場合の応力波の大きさの算出方法について調べた。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 直径50mmの比較的大い丸棒でも一次元弾性波理論により応力波の伝播過程を算出することが可能である。
- (2) 体積が等しくなるように断面積および段付き長さを調整することにより、断面積が緩やかに変化する棒を伝播する応力波の波形を段付き丸棒と一次元弾性波理論により予測することができる。

参考文献

- 1) 横山 隆, “高負荷速度下における円柱突合せ接着継手の引張り接合強度の評価”, 日本航空宇宙学会誌, Vol. 48,

No. 557, pp.358-364, Jun, 2000.

- 2) 田口 広一, 根本 尚生, 木原 幸一郎, 磯野 宏秋, 杉林 俊雄, “アルミニウム合金製の被着体を用いたアクリル系接着剤強度の温度および負荷速度依存性の評価”, 軽金属, Vol. 57, No. 1, pp. 6-11, Jan, 2007.
- 3) 根本 尚生, 田口 広一, 木原 幸一郎, 磯野 宏秋, 杉林 俊雄, “アルミニウム合金製の被着体を用いたアクリル系接着剤の低温下における衝撃強度評価”, 軽金属, Vol. 55, No. 10, pp. 473-478, Oct, 2005.
- 4) 木原 幸一郎, 鈴木 久貴, 磯野 宏秋, 森 きよみ, 松井 新一, 杉林 俊雄, “高温下において衝撃負荷をうける接着接合体の引張強度”, 日本接着学会誌, Vol. 46, No. 12, pp. 457-465, Dec, 2010.
- 5) “技術資料 金属材料の弾性係数”, 日本機械学会, 1985
- 6) 柳原 直人, “一次元弾性応力波理論による衝撃測定法”, 日本機械学会論文集 (第1部), Vol. 43, No. 375, pp. 4048-4052, Nov, 1977.
- 7) 中原 一郎, 松本 浩之, “弾性波の伝ばと衝撃応力”, 日本機械学会誌, Vol. 69, No. 575, pp. 1634-1641, Dec, 1966.
- 8) 田中 吉之助, 黒川 知明, “変断面棒における応力伝ば”, 日本機械学会論文集 (第1部), Vol. 38, No. 311, pp. 1715-1720, Jul, 1977.
- 9) 小林 公一, 田辺 裕治, “変断面打撃棒を用いたホプキンソン棒法衝撃試験”, 実験力学, Vol. 2, No. 2, pp. 117-121, Jun, 2002.

ブラックホール形成における自由エネルギーの連続性について*

On the continuity of free energy during black hole formation

関野 恭弘 Yasuhiro SEKINO**

鈴木 康夫 Yasuo Y. SUZUKI**

Abstract

We address the question whether the transition between ordinary matter and a black hole could be considered as a phase transition. The defining property of the phase transition is that free energy should be continuous at the transition point. We study free energies of black holes and ordinary matter (neutron stars and thermal radiations). We find that the ratio of free energy to internal energy for Schwarzschild (static and spherically symmetric) black hole is exactly one half, which is different from the ones for ordinary matter. If the black hole formation is a phase transition, this fact suggests that mass (internal energy) is not conserved during black hole formation, contrary to the common belief.

Keywords: black hole, thermodynamics, quantum gravity

1. はじめに

重力の古典論（一般相対論）において、ブラックホールは、光を含めて何も脱出できない領域として定義される。物理学の基本法則は全て可逆なので、入ることはできるが出ることはい出来ないというブラックホールの性質は、非常に奇異に感じられる。ブラックホールに落ちた物体の情報は失われるのだろうか、また、ブラックホールに熱を捨てることにより、熱力学第2法則が破れたりしないだろうか、という素朴な疑問が生じる。

1970年代に Bekenstein¹⁾, Hawkingら²⁾により、ブラックホールは温度とエントロピーを持った熱力学的物体であると見なせることが提唱された。それによると、ブラックホールのエントロピーは事象の地平面（脱出できない領域の境界）の面積に比例し、温度は地平面での表面重力に比例する。このように仮定すると熱力学第1法則に相当する式が成り立つが、これは、当初は形式的な類似に過ぎないという見方もあったと思われる。しかし、その後、Hawkingによる場の量子論に基づく解析によって、ブラックホールは物質を吸収するのみではなく、有限温度の熱輻射を放出していることが示された³⁾。この事実は、ブラックホールが周囲の輻射と熱平衡にあり、通常の熱力学的物体と同様に扱えることを示唆している。

ブラックホールを熱力学的物体として見なすことができるなら、通常の物質からブラックホールが形成される過程は、相転移と見なせるだろうか。本稿では、この点を考察する。相とは物質がとることができる状態の種類のことであり、系のパラメータの値の変化に伴い、ある値で何らかの物理量が不連続に変化することを相転移という。身近な相転移の例としては、気体・液体・固体の間の転移や、磁性体における、分子の磁気モーメントの向きが揃っている状態と向きがランダムな状態の転移（前者が永久磁石を表す）等がある。安定な状態（実際に実現される状態）とは自由エネルギーが最小の状態であるので、相転移点は2相の自由エネルギーが等しくなることで特徴づけられる。自由エネルギーを適当な回数微

分することにより表される量は、不連続になったり発散したりする。例えば、水と氷の相転移において、内部エネルギーは不連続のため、潜熱が現れる。

本稿では、ブラックホールと通常の物質の自由エネルギーを求めてそれらを比較する。通常はこれらの間の転移は相転移であるとは考えられておらず、ブラックホールの形成は、熱力学ではなく単なる力学の問題と考えられている。これは、ブラックホールの温度が通常の尺度から見ると非常に低いいため、ゼロと見なしてよいだろうという考えからだが、本稿では、必ずしもそうは言い切れないということを指摘する。本稿でブラックホールと通常の物質の間の転移が相転移と見なせるかという問いへの答を与えるには至らないが、問題提起を行いたい。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第2節で導入として、通常の熱力学と統計力学の基本的事項をまとめておく。第3節でブラックホールの熱力学の性質を述べ、ブラックホールの自由エネルギーを求める。第4節でブラックホールと様々な物質の自由エネルギーの比較を行い、第5節でその意味を考察する。

2. 熱力学と統計力学

本節では、以降で使うことになる熱力学と統計力学の基本的事項をまとめておく。

2.1 自由エネルギー

内部エネルギー U 、温度 T 、エントロピー S 、圧力 p 、体積 V を持った熱力学的物体は、それらの微小変化に関して、熱力学第1法則

$$dU = T dS - p dV \quad (1)$$

を満たす。 $T dS$ は物体が吸収する熱量、 $p dV$ は物体が外部にする仕事を表している。

自由エネルギー F は、以下のように定義され、

$$F = U - TS \quad (2)$$

その微小変化は

* 原稿受付 2021年11月8日

** 拓殖大学工学部基礎教育系列

$$dF = -dT S - p dV \quad (3)$$

を満たす。等温過程 ($dT=0$) で、系が行いうる最大の仕事は、自由エネルギーの変化の逆符号 $-\Delta F$ で与えられる。また、一定温度 T での系の安定な状態とは、自由エネルギーが最小になる状態である (他の状態に移るには外部から正の仕事をされることが必要なので)。

自由エネルギーは、統計力学において本質的となる量である。カノニカル分布の考え方では、系がとり得るミクロな全状態を、そのエネルギーに応じて $e^{-\beta E_i}$ という重みを付けて平均した集団を考える (ここで、 $k_B = 1.4 \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ を Boltzmann 定数として $\beta = \frac{1}{k_B T}$ であり、状態 i のエネルギーを E_i としている。) 自由エネルギーは、分配関数 $Z = \sum_i e^{-\beta E_i}$ を用いて、

$$F = -\frac{1}{\beta} \log Z = -\frac{1}{\beta} \log \sum_i e^{-\beta E_i} \quad (4)$$

で定義される。系の内部エネルギー U は、エネルギーの期待値

$$U = \langle E \rangle = \frac{\sum_i E_i e^{-\beta E_i}}{\sum_i e^{-\beta E_i}} = \frac{\partial}{\partial \beta} (\beta F)$$

で与えられる。これが (2) に一致していることは、(3) からから導かれる $\partial F / \partial T = -S$ から分かる。

分配関数において、あるエネルギー E を持った状態の集合 (マクロな状態) が支配的になるのが普通である。その場合に、エネルギー E を持ったミクロな状態数を $W(E)$ とすると、自由エネルギー (4) は

$$F = -\frac{1}{\beta} \log (W(E) e^{-\beta E}) = E - T k_B \log W(E) \quad (5)$$

となる。統計力学では、エントロピーは状態数の対数によって $S = k_B \log W(E)$ と定義されるので、これは、たしかに (2) に一致している。

系のパラメータの変化に伴い、支配的なマクロな状態が入れ替わるのが相転移である。典型的には、エネルギー E が小さい状態と、状態数が多い ($-T k_B \log W(E)$ が小さい) 状態のどちらが、自由エネルギーが小さいかという問題になる。(磁性体の例では、前者が分子の磁気モーメントの向きが揃った状態、後者が向きがランダムな状態。) 相転移点では、両者の自由エネルギーは等しくなる。

2.2 量子統計力学

量子力学系では、上記の分配関数の定義において、エネルギー E_i をエネルギーの固有値として、エネルギー固有状態 $|i\rangle$ (ハミルトニアン演算子を H として、 $H|i\rangle = E_i|i\rangle$) を満たす状態) についての和をとる。

$$Z = \sum_i \langle i | e^{-\beta H} | i \rangle \quad (6)$$

量子力学における時間発展は、 $e^{-iHt/\hbar}$ という演算子で表される。(ここで、プランク定数を $\hbar = 6.6 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ として $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ である。) よって、 $e^{-\beta H}$ は、虚数時間 $-i\hbar\beta$ での時間発展と見なすことができる。量子力学における時間発展を Feynman の経路積分により表すと、(6) は、

$$Z = \int_{x(0)=x(\hbar\beta)} \mathcal{D}x(t_E) e^{-\frac{1}{\hbar} \int_0^{\hbar\beta} \mathcal{L}(t_E) dt_E} \quad (7)$$

と書ける。ここで、 $\mathcal{L}(t_E)$ は虚数時刻 t_E の関数としての系のラグランジアンである。時刻 t_E での系の状態を表す変数をここでは、 $x(t_E)$ とした。 $\mathcal{D}x(t_E)$ は、各時刻でとりうる全ての $x(t_E)$ の値について積分することを意味している。ただし、(6) において、始状態と終状態がいずれも $|i\rangle$ という同一状態であることに対応して、(7) では周期的境界条件 $x(0) = x(\hbar\beta)$ を課す。(詳しい解説は、例えば文献⁶⁾参照。)

3. ブラックホールの熱力学

本論文では、宇宙項ゼロの場合の Schwarzschild ブラックホール (角運動量や電荷を持たないブラックホール) という、最も簡単な例に限って考える。まずブラックホールのエントロピーと温度について解説する。Hawking らの論文^{2,3)} で与えられた厳密な導出を紹介することは出来ないが、ごく簡単な説明を与える。節の最後で自由エネルギーを求める。

3.1 ブラックホール時空

Schwarzschild ブラックホールは、以下の計量で表される。

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM/c^2}{r}\right) (cdt)^2 + \left(1 - \frac{2GM/c^2}{r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\psi^2) \quad (8)$$

ここで、 M はブラックホールの質量、 $G = 6.7 \times 10^{-11} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ は重力定数 (万有引力定数)、 $c = 3.0 \times 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ は光速である。無限遠 $r \rightarrow \infty$ では、(8) の第1項と第2項の括弧内は1に近づき、平坦な時空に近づく。

動径座標 r が以下の値

$$R = \frac{2GM}{c^2} \quad (9)$$

の位置にある2次元球面が事象の地平面である。その外部 ($r > R$) から内部 ($r < R$) に入ることができるが、逆はできない。一例として、動径方向に外向きに進む光を考えると、光の経路は4次元的な距離がゼロ ($ds^2 = 0$) であることから、微

小要素は $dr=(1-R/r)c dt$ を満たす。無限遠では $dr=c dt$ だが、地平面近く ($r \rightarrow R$) では $dr \rightarrow 0$ となり、地平面直上では $dr=0$ なので、外向きに動けないことが分かる。

半径 R の簡単な覚え方として、力学的エネルギー保存則から導かれる、重力場からの脱出速度 v の条件 $\frac{1}{2}mv^2=G\frac{mM}{R}$ に光速 $v=c$ を代入したと考えることもできる。(ただし、ニュートン力学では光は重力の影響を受けないので、ニュートン力学に基づくこの式は本当はこの場合に適用できない。係数を含めて一致するのは偶然というべきである。実際、質量を持った物体のまわりで光が曲がる角度に関しては、ニュートン力学を用いた上記と類似の議論による答は、正しい値と2倍異なることが知られている。)

3.2 エントロピーと温度

地平面は半径 R の2次元球面なので、その面積は $A=4\pi R^2$ である。ブラックホールのエントロピー S は、Schwarzschild ブラックホールに限らず、4次元ブラックホールについて一般に、

$$\frac{S}{k_B} = \frac{Ac^3}{4G\hbar} \quad (10)$$

であると考えられている。 S/k_B は、前節で述べたように、状態数の対数と解釈されるべき量であり、無次元である。右辺は、プランク長

$$\ell_P = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} = 1.6 \times 10^{-35} \text{ m} \quad (11)$$

を単位として測られた面積である。プランク長は、それより近距離では重力の量子効果が重要になると考えられている長さである。ブラックホールのエントロピーが何の状態数を表しているかは未解明であるが、限られた場合には超弦理論により説明が与えられている³⁾。

太陽程度の質量を持ったブラックホールを考えると、半径は $R \sim 30 \text{ km}$ であり、エントロピーは $S/k_B \sim 10^{77}$ という非常に大きい数である。比較のため、太陽と同程度のエネルギーと温度を持った熱輻射（その熱力学的性質は次節参照）を考えると、 $S/k_B \sim 10^{67}$ 程度である。熱輻射は通常の星よりも大きいエントロピーを持つが、それでもブラックホールに比べると、エントロピーは大幅に小さい。

Schwarzschild ブラックホールの温度は、

$$T = \frac{\hbar c}{4\pi R k_B} = \frac{\hbar c^3}{8\pi k_B G M} \quad (12)$$

と考えられている。太陽質量のブラックホールの温度は $T \sim 10^{-7} \text{ K}$ と、通常の尺度からは非常に小さい値である。

ブラックホールの内部エネルギーは、相対論的關係式より

$U=Mc^2$ で与えられる。それと、エントロピー (10) と温度 (12) の微小変化は、熱力学第1法則 (1) を満たす。今の場合、仕事の項が無い式になるが、回転しているブラックホールの場合に仕事の項を含めた式も成り立つことが示されている³⁾。

ブラックホールの温度は簡単には以下のように導かれる。計量の (t, r) 部分を考え、 r の代わりに、地平面からの距離を表す動径座標 ρ を用いることにする。それらの間の座標変換は、地平面付近では

$$\rho(r) = \int_R^r \frac{dr}{\sqrt{1-R/r}} \sim 2\sqrt{R}\sqrt{r-R}$$

となり、地平面付近の計量は以下の形に書ける。

$$ds^2 = -\frac{1}{4R^2}\rho^2(c dt)^2 + d\rho^2$$

ここで、 $t \rightarrow it_E$ と解析接続し、正定値の計量 (Euclid 計量) を定義する。

$$ds_E^2 = \frac{1}{4R^2}\rho^2(c dt_E)^2 + d\rho^2 \quad (13)$$

この計量が特異点を持たないことを要請すると、Euclid 時間 t_E が、周期 $4\pi R/c$ を持たなければならないことになる。(そうすれば、(13) は平坦な2次元 Euclid 空間を極座標で表した計量になるが、そうでないと、欠損角が生じて $\rho=0$ が特異点になってしまう。) この周期が前節で述べた $\hbar\beta$ に等しいとすることにより、温度 (12) が導かれる。

この温度は、以下のような意味を持つと考えられている。場の量子化の際、真空状態（基底状態）を定義する際の標準的な方法は、Euclid 化の方法である。エネルギー E_i を持った状態には、時間発展により $e^{-\hbar E_i t}$ という因子が掛かるが、虚数の時間 $t = -iT$ を考えて $T \rightarrow \infty$ とすることにより、初期状態としてエネルギー最小の状態を取り出すことができるためである（文献⁷⁾等参照）。ブラックホール時空において、虚時間が特定の周期を持たなければならないということは、その上で電磁場をはじめとする場を量子化すると、必然的に温度を持つことになる。(一方、平坦時空をEuclid化する際は、虚数時間を周期的にしないことも任意の周期を課することも可能である。) すなわち、ブラックホールは、温度 (12) を持った熱輻射の中にあると考えるべきである。(重力理論における経路積分や重力の熱力学に関する最近の進展については、論文^{8,9)}参照。)

ただし、ブラックホールは、熱力学的に不安定だと考えられている。ブラックホールの内部エネルギー $U=Mc^2$ は $1/T$ に比例する ($M \propto R$, $R \propto 1/T$ より) ので、温度が高いほど内部エネルギーが低い。つまり、ブラックホールの比熱 $\partial U / \partial T$ は負である。一般に、温度が異なる2つの物体を接触させると、

必ず温度の高い方から低い方に熱（エネルギー）の移動が起こる。ブラックホールの比熱が負だということは、ブラックホールの温度が熱輻射の温度より少しでも高いと、ブラックホールから熱輻射にエネルギーが移り、それによりブラックホールの温度はさらに上昇する。それを繰り返し、最終的にブラックホールは蒸発すると考えられている²⁾。(外部に残るのは熱的なランダムな輻射なので、ブラックホールを構成していた物質の情報が蒸発により失われるのか、というのがブラックホールの情報問題と呼ばれる未解決問題である。)

3.3 ブラックホールの自由エネルギー

Schwarzschild ブラックホールの自由エネルギーを求めるため、エントロピー(10)と温度(12)を用いて TS を計算してみると、

$$TS = \frac{c\hbar}{4\pi k_B R} \cdot \frac{\pi k_B c^3 R^2}{G\hbar} = \frac{c^4 R}{4G} = \frac{1}{2}Mc^2 \quad (14)$$

となる。よって、自由エネルギーは、

$$F = U - TS = Mc^2 - \frac{1}{2}Mc^2 = \frac{1}{2}Mc^2 \quad (15)$$

となり、内部エネルギーのちょうど半分であることが分かる。

この性質は、少なくとも通常の感覚からは、予想外というべきだろう。前節で述べたように、ブラックホールの温度(12)は、通常の物理的過程の温度に比べて非常に小さいので、熱力学に特徴的な項 TS は無視して良さそうにも思われる。しかし、実際はエントロピー S が非常に大きいため、 T の小ささを補って、 TS 項が U とちょうど同じオーダーになっている。

3.4 熱力学的考察に関する注意点

ブラックホールと通常の物質の転移を熱力学的な相転移として扱う、という本稿のような試みは通常行われていないが、それは以下のような理由によると思われる。それぞれについて考察してみる。

第1の理由は、ブラックホールの温度が非常に低いことだと思われるが、上述のようにエントロピーが非常に大きいため、温度が低くても単純に熱力学的効果は無視できるとは限らないと思われる。

第2の理由は、通常、ブラックホールの形成は単に、不安定な状態が安定な状態に向かう非平衡過程だと見なされているためだと思われる。そのように見ると、両者の自由エネルギーが異なると当然だということになる。だが、外部の観測者によるブラックホールの記述を考えると必ずしもそうは言えないように思われる。(量子重力理論は、1人の観測者がアクセスできる自由度を使って定式化すべきであると考えられており¹⁰⁾、その場合、外部に留まる観測者を考えるのが自然

である。) 前述の地平面近傍では光の動径方向への進みが遅くなるという事実から分かるように、外部の観測者から見ると、ブラックホールの形成には無限の時間がかかるように見える。(これは、重力による赤方偏移と呼ばれる。) このことは、通常、非平衡と考えられている過程も、静的な平衡状態のように扱うべきであることを意味しているかもしれない。

第3の理由は、上で触れたように Schwarzschild ブラックホールは負の比熱を持つため、熱力学や統計力学において安定な状態として取り扱うことが出来ないのではないかと懸念からだと思われる。ただし、負の比熱に伴う不安定性はブラックホールの蒸発の際に現れる問題だが、ブラックホールの蒸発は、宇宙年齢を超えるような時間スケールで起こる現象なので、通常の物質からブラックホールが形成される過程とは分けて考えることが可能かもしれない。ブラックホールより高い温度を持った通常の物質からブラックホールにエネルギーが移る際には、負の比熱に伴う不安定性は直接現れないように思われる。

第3の点に関連して、負の宇宙項を持った反ドジッター (AdS) 空間における、Schwarzschild ブラックホールに関する Hawking と Page の研究¹¹⁾がある。AdS 空間の場合、平坦時空と違い、空間的無限遠から中心方向に引き戻すような重力ポテンシャルが存在する。そのような空間内では、十分大きいブラックホール (地平面の半径が AdS の曲率半径より大きいもの) は熱輻射を発しても、重力ポテンシャルにより戻ってきた熱輻射を吸収することにより、安定に存在しうる。自由エネルギーの解析から、温度に応じて、熱輻射のみ含む空間とブラックホールの間で相転移が起こることが示されている¹¹⁾。ただし、地平面の半径が AdS の曲率半径より小さい場合は、宇宙項ゼロの場合のブラックホールと同様、負の比熱を持ち熱力学的に不安定である。Hawking と Page の研究は数学的に厳密で、大変興味深い結果だが、AdS 時空特有の性質に基づいており、通常の物質とブラックホールの転移をどう考えるかという点に関して直接示唆を得ることは難しいように思われる。

4. 様々な物質の自由エネルギー

前節で求めたブラックホールの自由エネルギーと比較するため、通常の物質の自由エネルギーを求める。まず、典型的なブラックホールが形成される直前の状態と考えられている中性子星を考える。また、参考のため、熱輻射を考える。これは、モデル依存性の無い典型的な物質の1つであることと、熱輻射で支えられた星も存在する¹²⁾という理由からである。

4.1 中性子星

中性子星は、ごく簡単には以下のようなモデルで説明される。量子力学において、中性子のようなフェルミ粒子は、パ

ウリの排他律により、同じ状態を2つ以上の粒子が占めることは出来ない。よって、温度がゼロの場合、粒子はエネルギーが低い状態から順に占めることになる。そのような系を完全縮退フェルミ系といい、エネルギーの低い状態に粒子を詰め込めないことを縮退圧の効果であるという言い方をする。中性子星では、縮退圧と重力がつり合っている。粒子の位置と運動量の間にハイゼンベルグの不確定関係 $\Delta x \Delta k \geq \hbar$ があるので、3次元空間における状態数は、 $2 \int d^3x d^3k / \hbar^3$ で与えられる。先頭の2倍は、スピン1/2を持つ中性子が取り得る2つのスピンの向きによるものである。中性子星のエネルギー密度は、上記の状態数に中性子の質量 m_n を掛け、(単位体積あたりの量なので) x 積分を省いたものであり、

$$\rho(r) = \frac{m_n}{\hbar^3} 8\pi \int_0^{k_F} k^2 dk = \frac{8\pi}{3\hbar^3} m_n k_F^3 \quad (16)$$

となる。ただし、等方的な場合を考えることとして、運動量積分 $\int d^3k$ を、その大きさ $k=|k|$ のみの積分 $4\pi \int k^2 dk$ で置き換えた。エネルギー密度は星の中心からの距離 r によるので $\rho(r)$ としている。占有されている最大の運動量の大きさ k_F のことをフェルミ運動量という。フェルミ運動量が $m_n c$ に等しくなる密度のことを中性子星の臨界密度 ρ_c といい、

$$\rho_c = \frac{8\pi m_n^4 c^3}{3\hbar^3}$$

である。密度がこれより大きいときは相対論的な状態方程式を使う必要がある。 $\rho(0) \ll \rho_c$ の場合、上記の密度を重力場の方程式に代入して計算すると、中性子星の半径 R と質量 M は以下のように表されることが示されている¹²⁾。

$$R = 11.0 \text{ km} \times \left(\frac{\rho_c}{\rho(0)} \right)^{1/6} \quad (17)$$

$$M = 2.7 M_\odot \times \left(\frac{\rho_c}{\rho(0)} \right)^{1/2} \quad (18)$$

ただし、 $M_\odot = 2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$ は太陽質量を表す。

$\rho(0)$ が ρ_c と同程度かそれより大きい場合、中性子の相対論的な状態方程式と重力に関して一般相対論を使い、自由な中性子からの補正も必要になる。また、実際には中性子内部には構造があることが分かっており、さらに、中性子だけでなくクォークの束縛状態として表されるその他の物質も存在すると考えられている。(例えば、文献¹³⁾参照。) それらに関する補正を取り入れて正確な値を求めるのは難しいが、オーダーとしては上記に近いと考えられる。

上記のゼロ温度としての扱いは、温度 T がフェルミ運動量に対応するエネルギー $\epsilon_F = \frac{1}{2m_n} k_F^2$ に比べて十分小さければ良い近似である。これは、通常の中性子星の温度では成り

立っていると考えられている。ブラックホールとの比較の場合、前述のように、赤方偏移のためさらに低い温度を考慮することになると思われるので、十分成り立っていると言えるだろう。(完全縮退フェルミ系からの補正を $T=0$ のまわりの展開として求めることも可能である⁴⁾。)

温度ゼロでは、取り得る状態数は1なのでその対数であるエントロピーはゼロであり、自由エネルギーは内部エネルギーに等しい。よって、中性子星のエネルギーは、(18) (あるいは、相対論的な補正を受けた式) で与えられる質量 M を用いて、

$$F = Mc^2 \quad (19)$$

で与えられる。

4.2 熱輻射

熱輻射の内部エネルギーは、電磁場の振動数を ω として、第2節で触れた統計力学によると、黒体輻射に関するプランクの公式

$$U = \frac{V\hbar}{\pi^2 c^3} \int_0^\infty \frac{\omega^3 d\omega}{e^{\hbar\omega/k_B T} - 1} = 4 \frac{\sigma}{c} VT^4 \quad (20)$$

で与えられる⁴⁾。ここで、

$$\sigma = \frac{\pi^2 k_B^4}{60\hbar^3 c^2} \quad (21)$$

は、Stephan-Boltzmann 係数と呼ばれる量である。また、自由エネルギーは、

$$F = T \frac{V}{\pi^2 c^3} \int_0^\infty \omega^2 \log(1 - e^{\hbar\omega/k_B T}) d\omega = -\frac{4\sigma}{3c} VT^4 \quad (22)$$

である。よって、熱輻射については、

$$F = -\frac{1}{3} U \quad (23)$$

の関係がある。

5. 考察：自由エネルギーからの示唆

上記のように、ブラックホールにおける内部エネルギー U と自由エネルギー F の関係 ($F=U/2$) は、中性子星の場合 ($F=U$) や熱輻射の場合 ($F=-U/3$) と異なることが分かった。この事実は何を意味するだろうか。

ブラックホールと通常の物質の間の転移が相転移だとすると、自由エネルギーは連続でなければならない。その場合、内部エネルギーが不連続になり、例えば、中性子星からブラックホールの転移では、2倍に増えることになる。通常の天体物理学の研究では、エネルギーの出入り (例えば、超新星爆発や物質降着等) が特に無ければ質量 (すなわち内部エネルギー) は保存すると仮定されているので、これは非常に予想

外の振る舞いである。このようなことが起こり得る理由は、通常の熱機関が熱源からエネルギーを得ることができるのと同様に、ブラックホールが周囲の熱輻射からエネルギーを得るためである。そのような効果は、ブラックホールの温度が非常に低いため、無視できると考えるのが普通だったが、ブラックホールが非常に大きなエントロピーを持つことから、このような熱力学的効果が効いてきてもおかしくはない。

ブラックホールと熱輻射で、自由エネルギーの符号が違ふことの解釈は、現時点ではっきり分らない。熱輻射が直接ブラックホールに変わることは起こりやすいことではないが、原理的には可能だと考えられている。エネルギーを持った物質は何であつても重力の源になるためである。実際、理論的な議論で、熱輻射からブラックホールが形成されるという過程はよく考えられる（例えば、有限温度の平坦時空の不安定性に関する文献⁹⁾）。ブラックホールの形成が相転移であるなら、自由エネルギーの符号が違って、それを連続にすることができないため、熱輻射から直接ブラックホールが形成されることはないということかもしれない。

今後の最も重要な課題は、通常の物質とブラックホールの転移が相転移と見なせるかどうかをはっきりさせることである。時空が固定されたものとしてその上で場の量子論を解析するという半古典重力理論では、これには答えられない。その枠内では、ブラックホールの生成確率のような量は定義できないからである。この問題に答えるためには、量子重力理論そのものを扱わなければならないと思われる。量子重力の指導原理と考えられている「ホログラフィー原理」によると、量子重力理論は時空の境界（空間的無限遠）で定義された、重力を含まない理論（双対理論）によって記述できると考えられている¹⁰⁾。そのような理論として、ゲージ理論¹⁴⁾や行列模型¹⁵⁾がある。これらはいずれも $SU(N)$ ゲージ対称性を持ち、行列を変数とするスカラー場を持つ。それらの理論において、ブラックホールは有限温度における平衡状態^{16, 17)}だと考えられているが、通常の物質とブラックホールの転移がどう表されるかはよく分っていない。これらの理論は複雑な相互作用を持つので解析が難しいが（例えば、文献¹⁸⁾参照）、本研究で提起した、自由エネルギーの連続性という問題に着目して解析を進めることは意味があると思われる。

最後に、本稿の主題と相補的な問題として、通常の物質とブラックホールの転移が相転移とした場合、秩序変数は何かについて述べる。秩序変数とは、一方の相ではゼロで他方の相では有限な値を持つような量である（例えば、磁性体における磁化）。中性子星とブラックホールの場合の秩序変数は、バリオン数だろう。中性子1個はバリオン数1を持つ。ブラックホールは、質量、角運動量、電荷のみで特徴づけられるので、バリオン数ゼロというべきだろう。双対理論でブラックホール形成を記述するには、自由エネルギーの連続性

に加えて、秩序変数が有限からゼロに変わる機構を説明する必要がある。

もし、ホログラフィー原理に基づく双対理論で、ブラックホールと通常の物質の転移が相転移であることが示されれば、上述した内部エネルギーの非連続性という、興味深い観測的指標が得られることになる。

謝辞

この研究は、2019年度－2020年度拓殖大学理工学研究所共同研究の助成を受けて行われました。

参考文献

- 1) J. D. Bekenstein, "Black holes and entropy," *Phys. Rev. D* **7**, 2333 (1973).
- 2) J. M. Bardeen, B. Carter and S. W. Hawking, "The Four laws of black hole mechanics," *Commun. Math. Phys.* **31**, 161 (1973).
- 3) S. W. Hawking, "Particle Creation by Black Holes," *Commun. Math. Phys.* **43**, 199 (1975) [Erratum-ibid. **46**, 206 (1976)].
- 4) ランダウ, リフシッツ, "統計物理学," 岩波書店, 1980年.
- 5) A. Strominger and C. Vafa, "Microscopic origin of the Bekenstein-Hawking entropy," *Phys. Lett. B* **379**, 99 (1996); C. G. Callan and J. M. Maldacena, "D-brane approach to black hole quantum mechanics," *Nucl. Phys. B* **472**, 591 (1996).
- 6) D. J. Gross, M. J. Perry and L. G. Yaffe, "Instability of Flat Space at Finite Temperature," *Phys. Rev. D* **25**, 330-355 (1982).
- 7) M. E. Peskin and D. V. Schroeder, "An Introduction to quantum field theory," CRC press, 1995.
- 8) S. Miyashita, "Energy spectrum of a quantum spacetime with boundary," *Class. Quant. Grav.* **36**, 155003 (2019).
- 9) S. Miyashita, "Gravitational and gravitoscalar thermodynamics," *JHEP* **09**, 121 (2021).
- 10) L. Susskind, "The World as a hologram," *J. Math. Phys.* **36**, 6377 (1995).
- 11) S. W. Hawking and D. N. Page, "Thermodynamics of Black Holes in anti-De Sitter Space," *Commun. Math. Phys.* **87**, 577 (1983).
- 12) S. Weinberg, "Lectures on Astrophysics," Cambridge University Press, 2019.
- 13) M. Camenzind, "Compact Objects in Astrophysics: White Dwarfs, Neutron Stars and Black Holes," Springer, 2007.
- 14) J. M. Maldacena, "The Large N limit of superconformal

- field theories and supergravity,” *Adv. Theor. Math. Phys.* **2**, 231-252 (1998).
- 15) T. Banks, W. Fischler, S. H. Shenker and L. Susskind, “M theory as a matrix model: A Conjecture,” *Phys. Rev. D* **55**, 5112 (1997).
 - 16) E. Witten, “Anti-de Sitter space, thermal phase transition, and confinement in gauge theories,” *Adv. Theor. Math. Phys.* **2**, 505-532 (1998).
 - 17) T. Banks, W. Fischler, I. R. Klebanov and L. Susskind, “Schwarzschild black holes from matrix theory,” *Phys. Rev. Lett.* **80**, 226-229 (1998).
 - 18) M. Hanada, J. Nishimura, Y. Sekino and T. Yoneya, “Direct test of the gauge-gravity correspondence for Matrix theory correlation functions,” *JHEP* **12**, 020 (2011).

研究速報
SHORT NOTES

視覚的アプリ弱者のためのカスタマイズユーザインターフェースの提案* ～初期カスタマイズ機能を擁した証明書申請補助アプリでの検証～ User interface proposal for the visually weak person in apps

崔 烘碩 Hong-Seok CHOI**

森岡 大輔 Daisuke MORIOKA**

Abstract

This study defines elderly people suffering from presbyopia, cataracts or people who feel visually uncomfortable using smartphone's apps, such as people with color vision deficiency, are defined as "the visually weak person in Apps" and the purpose is to create and evaluate a user interface (UI) that is easy to recognize even for "the visually weak person in Apps". The UI produced is called Initial Customization Function (ICF), and when the app is first run, a user sets the combination of background color, text, button size, theme color and accent color in order. In the experiment, the settings selected by the subjects were applied to the app and used. There were 27 subjects, including college students and the elderly people, and all subjects, except for the elderly, were similarly experimented as people with color vision deficiency by wearing Dichromatism Simulation Glasses. It was found that the ICF proposed in this study is effective for people with color vision deficiency in that the experimental results with ICF were completed in about 21% shorter time than the experimental results without ICF in color vision deficiency.

Keywords: User Interface, Smart Phone, People with Visual Impairments

1. 研究背景

昨今、視覚に関することで悩みを抱える人は多くいる。老眼は、66%の人が40代から自覚し始める。生活に大きな支障をきたさないなどを理由に約半数が老眼に対して何も対策していないというデータもあるが、それでも細部に不便を感じる人が多いため、老眼に対応するニーズは高いと言える。また、男性の20名に1人が先天性色覚障害を持って生まれ、その数は全国で約300万人がいると推定されている¹⁾。

そのような中、2019年のスマートフォン（以下、スマホ）は全国で所持率が82%を超え、ますます生活インフラを整えつつある。スマートフォンアプリの総数はiOSとAndroidを合わせて560万個以上に上る。しかしこれだけのアプリがありながら、老眼や色覚異常などの視覚障害を有する者に対する考慮は、その大半が本体設定での文字サイズ変更等のOperating System任せである。

まず本研究では、前述した視覚の障害などで、スマートフォンアプリを十分に活用できない人を「視覚的アプリ弱者」と定義する。これら視覚的アプリ弱者に対してユニバーサルデザインの観点から、高齢者に多い老眼や白内障や、色覚に障害を有する人でも円滑な利用を可能とするUIの制作と、その評価を目的とする。

2. アプリケーション開発

本研究で開発したアプリケーションは、役所の手続きの一部をスマホで実施できるようにしたものである。このため申請に関わる手続きや、申請書の内容を調べてアプリケーションのコンテンツに適用した。アプリケーションのプロトタイプ

はAdobe XDを用いて作成し、使い勝手を確かめた（Fig. 01）。その後プロトタイプをベースにAndroid StudioでUIを再現しアプリを開発した。

実験では、AndroidスマートフォンGalaxy S8（Samsung社）をスマートフォンケースとスマホのスクリーンフィルムをつけない状態で使用した。主なスペックは、重さ150g、幅68mm、高さ149mm、厚み8.2mm、画面サイズ5.8inch、画面解像度2960×1440pixel、パネル種類Super AMOLED、CPU Qualcomm Snapdragon 835 MSM8998、内蔵メモリ4GB、OS Android Pie (9)である。

3. 色弱模擬フィルタ

本研究では、色覚に異常のない健常者を疑似的に「色覚障害を有する人」とするため色弱模擬フィルタを装着させた。色弱模擬フィルタは、伊藤光学工業製 製品「バリアントール（P・D複合型のメガネタイプ）」を用いた（Fig. 02）。製品に用いられたフィルタの特徴はP型強度（1型2色覚）とD型強度（2型2色覚）の色の見分けにくさを一度に合わせて体験できる、“P・D複合型”である。メガネタイプであるため、両手が自由でスマホの操作に邪魔にならない。色弱模擬フィルタを着用した際に見える視野のイメージをFig. 03に示す。

4. 評価実験

今回の実験のために、役所での証明書申請を補助するスマートフォン用アプリケーション（以下、アプリとする）を作成した。そのアプリに初期カスタマイズ機能（Initial Customized Function：以下、ICFとする）を搭載し、視覚的アプリ弱者に対する有効性を検証した。

* 原稿受付 2021年10月27日

** 工学部デザイン学科

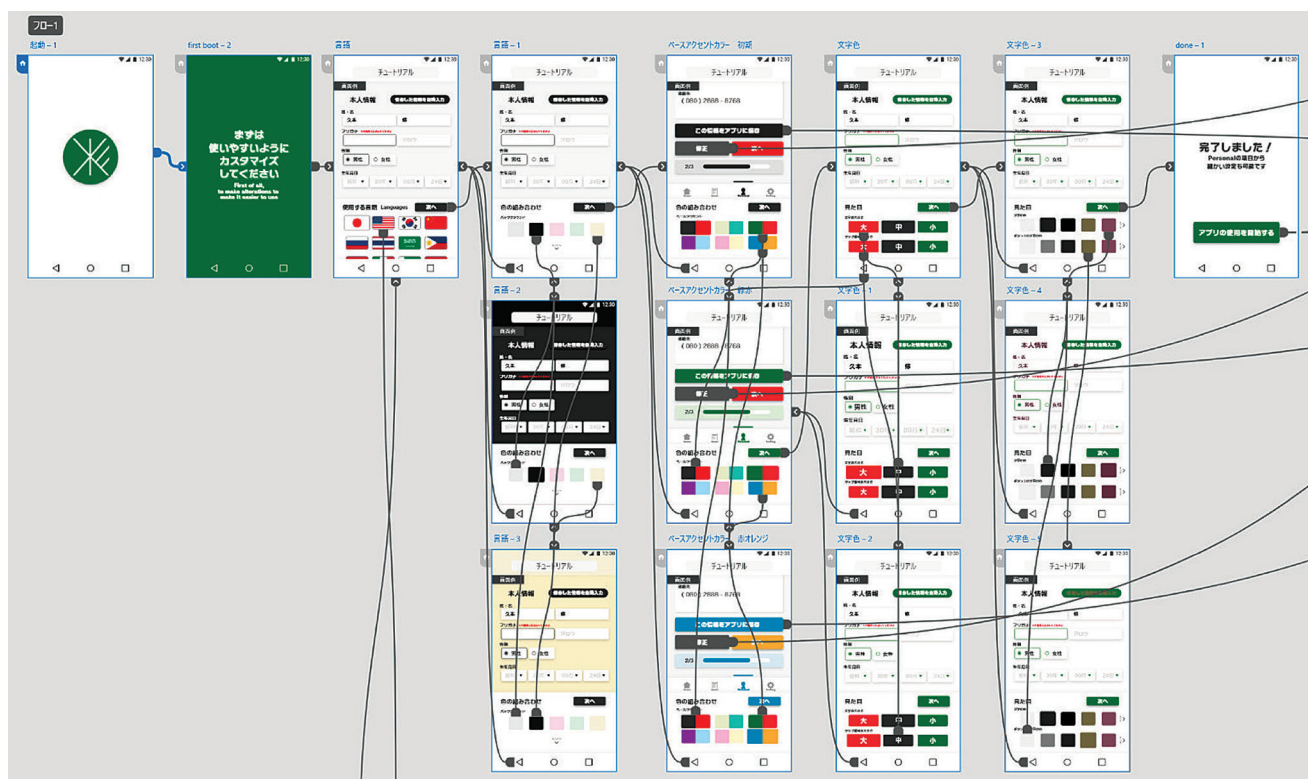


Fig. 01 Application UI prototype: ICF screen section



Fig. 02 Color-blindness simulation filter "Variantor"

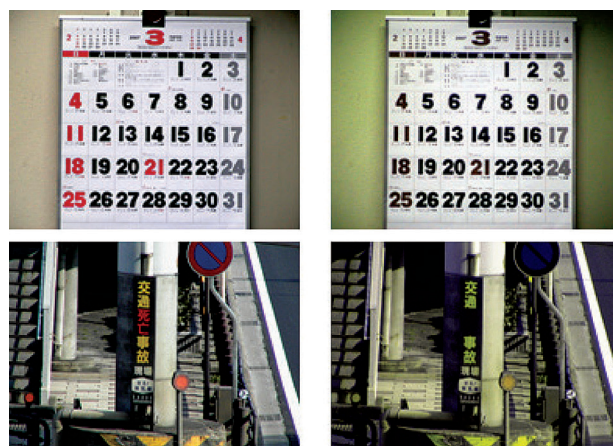


Fig. 03 The view comparison of colorblindness simulating filter: normal(left), colorblindness simulated by filters(right) 注2

4.1. ICF (Initial Customized Function)

アプリを起動して最初に、文字やボタンの大きさ、テーマカラーと強調色の組み合わせ、背景色をユーザが選択し設定できるICFを実装した。ICFの背景色は基本の白色と、白内障のための黒色の2色とした^{注3} (Fig. 04: 左)。文字とボタンの大きさは、アプリ弱者が細かい設定を得意としないことを考慮し【大】【中】【小】の3つに設定した。【小】の文字は「一番多かった文字サイズの検証結果」の集計から最低限のサイズである14dp、【中】の文字は老眼の高齢者が読める最低の

サイズの16dp、【大】の文字は【中】より大きめの18dpに設定した。

ボタンの大きさについて、【中】以上は高齢者の乾いた指でもタップし易いように、広めの42dpに設定した (Fig. 04: 中)。

テーマカラーと強調色の組み合わせは、カラーユニバーサルデザイン推奨配色セットに基づき、色覚障害を有していても見やすい色を複数配置 (Fig. 04: 右) した^{注4,5}。なお、この配色はGoogle推奨のガイドラインであるMaterial Designに則り、背景が白の場合ビビットカラー、黒の場合はパステル

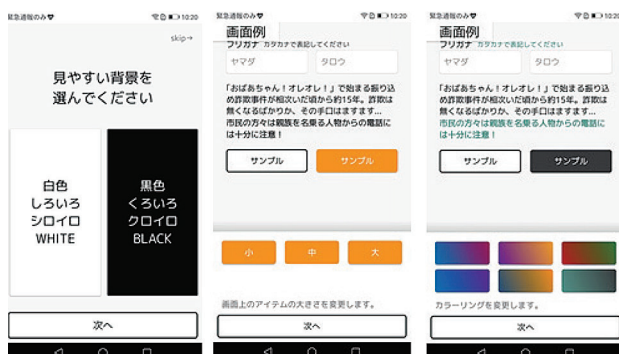


Fig. 04 ICF screen details: Background color selection screen (left), Size selection screen size (center), Color scheme selection screen(right)

カラーに変更されるように設定した。

フォントは鷲巢の研究を参考に、適切なウェイトや白黒バランス等の視認性や判読性の高い要素を基準に探し、「M+ FONTS」を使用することにした^{注6}。

4.2. 被験者

軽度の老眼を有する50代～70代の高齢者6名と、色覚に異常のない20代の健常な学生21名の計27名の協力を得た。なお視覚障害を有する高齢者の症状の内訳は、老眼2名、老眼＋白内障3名、緑内障1名である。また、色覚に異常のない20代の健常な学生はメガネによる視力矯正者はいない。

4.3. 実験の流れ

被験者に、アプリでの証明書申請のシチュエーションを指示し、一連の操作を実施するとともに操作する様子 (Fig. 05) を映像 (DJI社、Osmo Pocket) で記録した。このとき設定したシチュエーションは、住民票の写しを発行するために必要な架空の情報入力とした。情報の入力の際にソフトウェアキーボードの入力による個人差と予測変換機能の影響を減らすため、実験中の情報入力は「ドラムロール」式UIを採用し、改めて用意したリストから選べるようにした。入力する情報の設定構成を以下に示す。

- ・名 前：漢字4文字
- ・生年月日：西暦入力
- ・性 別：男 or 女
- ・電話番号：携帯番号11桁、固定番号10桁
- ・郵便番号：7桁
- ・住 所：都道府県、区（郡）、町、丁、番地、号

証明書の申請はICFの有無で2回行わせた。アプリ使用や操作の“慣れ”が操作時間へ影響を与えることを考慮し、高齢



Fig. 05 The experiment scene: A subject is inputting information while wearing a filter that simulates color weakness

者および大学生をともに半数に分け、それぞれの半数を「ICF有り」で1度目の申請操作を実施した後にControlで2度目申請操作を実施、残りの片方を「Controlで1度目の申請操作を実施した後にICF有りで2度目の申請操作を実施」の2グループに分けて実験を行った。これらの条件をもとに、各被験者の各年代における条件別被験者数をまとめたものをTable 01に示す。

Table. 01 Experimental conditions

Subjects	ICF Conditions	
	[Unit: Persons]	
	Control → Using ICF	Using ICF → Control
Elderlies	3	3
Students	11	10

4.4. 検証項目

実験で得られたデータは、「選んだ背景色」、「選んだアイテムの大きさ」、「選んだ配色」、「Controlの申請時間」、「ICF有りの申請時間」である。また、アンケートで次の項目を確認した。

- ・実験前（高齢者のみ）：老眼の有無、白内障の有無、スマホに慣れているか
- ・実験後（被験者全員）：スマホ使用歴、アプリの評価（ICFの有無し別）、アプリへの意見

5. 結果

各条件における申請時間をまとめたグラフをFig. 06～Fig. 08にそれぞれ示す。これらのグラフは申請時間の平均値を条件別に分析した結果であり、Fig. 06は被験者全体におけるICFの有無による申請時間の平均値を示したグラフである。このグラフより、Controlでは申請時間が233.9sであったのに対し、ICFありでは216.6sと申請時間が17.3s（約7.4%）短縮する傾向が見られた。

Fig. 07は被験者を高齢者と大学生で区別したときの、ICFの有無の違いによる申請時間の平均値を示したグラフであり、実線が高齢者、破線が大学生の結果をそれぞれ示す。高齢者について、Controlでは申請時間が349.8sであったのに対し、ICFありでは409.7sと申請時間が59.8s（約17.1%）長くなる傾向が見られた。一方、大学生ではControlで申請時間が200.8sであったのに対し、ICFありでは179.0sと申請時間が21.8s（約10.8%）短縮する傾向が見られた。また標準偏差についても高齢者ではControlで169.4s、ICFありで100.3sといずれも100sを超えるが、大学生ではControlで42.2s、ICFありで45.3sと50%未満であることから、高齢者は大学生と比較して個人差が顕著に現れる傾向が見られた。この原因の1つとして、一般的に高齢者は大学生と比較してアプリの利用に対する習熟度が影響を与えたと考えられる。

Fig. 08は実験順序の条件で区別したときの、ICFの有無の違いによる申請時間の平均値を示したグラフであり、実線が「ControlからICF有り」、破線が「ICF有りからControl」の結果をそれぞれ示す。「ControlからICF有り」について、Controlでは申請時間が232.5sであったのに対し、ICFありでは183.4sと申請時間が49.1s（約21.1%）短縮する傾向が見られた。一方、「ICF有りからControl」について、ICFありでは252.4sであったのに対しControlでは申請時間が235.5sと申請時間が16.9s（約7.2%）短縮する傾向が見られた。いずれの場合についても申請時間に短縮が見られたが、「ControlからICF有り」の短縮時間は「ICF有りからControl」の短縮時間の約2.9倍であり、ICFの効果が顕著に現れたことが短縮時間からも明らかとなった。

視覚障を有する高齢者の症状別における申請時間では、老眼のみ的高齢者はControlで248s、ICFありで256sとほぼ同等の結果となった。老眼+白内障の高齢者では、Controlで319s、ICFありで359sと40s（約12.5%）長くなる傾向が見られた。その一方で、緑内障の高齢者では、Controlで648s、ICFありで500sと申請時間が148s（約22.8%）短縮する傾向が見られた。緑内障の症状については申請時間の大幅な短縮が見られた一方で、老眼や老眼+白内障ではICFの効果を明らかにすることができなかった。この原因には、各被験者の症状の程度に違いが操作時間に影響を与えていると考えられる。

アプリの評価について、ICFの有無し別で5段階評価をおこなった。このとき、「とても良い」を5点、「とても悪い」を1点としその合計を算出した。その結果、ICF無しの評価は85点、ICF有りでは55点とICF有りの評価がICFなしと比較して55%高いことが明らかとなった。主な意見として、「黒い背景」や「文字の大きさ」を変更できることがみやすさの向上につながると評価されたことが点数に反映されたと考えられる。

操作時間の結果について、統計学的手法を用いて有意差検定（ t 検定〔対応あり〕）を行った。被験者全体におけるICFの有無による申請時間の平均値（Fig. 06）では、両群間で有意な差（ $p<0.05$ ）は見られなかった。

高齢者と大学生で区別したときの、ICFの有無の違いによる申請時間の平均値（Fig. 07）について、各被験者群における条件の違いでの有意な差（ $p<0.05$ ）は見られなかった。しかしながら申請時間に短くなる傾向が見られたことから、若年層に対しては一定の効果があると考えられる。

実験順序の条件で区別したときの、ICFの有無の違いによる申請時間の平均値（Fig. 08）について、「ControlからICF有り」では、ICFを利用することで申請時間が有意に短くなる（ $p<0.01$ ）ことが明らかとなった。一方で「ICF有りから

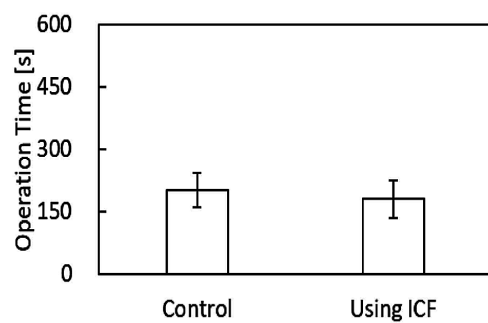


Fig. 06 Application time for all subjects

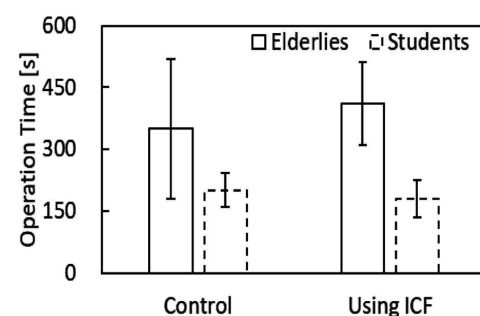


Fig. 07 Application time by subject group

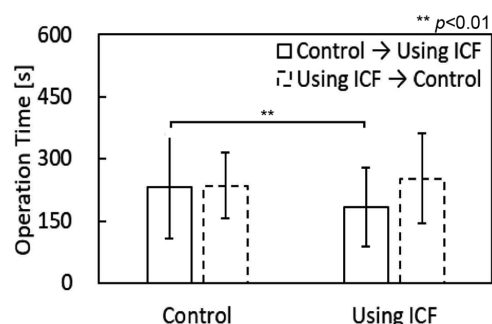


Fig. 08 Application time by order

Control」ではICF利用における有意な差 ($p < 0.05$) は見られなかった。

被験者全体での申請時間 (Fig. 06)、高齢者と大学生で区別したときの申請時間 (Fig. 07) および実験順序の条件で区別したとき (Fig. 08) のICFありからControlの手順の統計学的分析で差が見られない主な原因として、アプリへの慣れがICFの効果に影響を及ぼしていることが考えられる。本研究では事前に「ICFあり」と「Control」の順を入れ替えることでその影響を抑えるよう考慮したが、操作慣れによる時間短縮の影響がICF有りの時間短縮効果と同程度ある恐れを否定できない。すなわち、「Control」から「ICFあり」の順で実験を行った条件のみ、ICFありの効果による時間短縮に操作慣れによる時間短縮が加算されることで申請時間が有意に短くなったと考えることができる。

Fig. 08の結果では、このインターフェースを使用した場合と使用をやめた場合の双方で申請時間の短縮が見られたが、今回われわれが制作したUIはこれまでに同様の機能を有した製品は見受けられない。つまり、「ICF有りからControl」の実験順序の条件で申請時間に短縮が見られたが、そのような状況が生じることは考えづらく、むしろ「ControlからICF有り」の条件を重視する必要があると考える。そしてこの条件で申請時間が約21.1%短縮した要因は、各ユーザが自身の症状に最適な背景色、サイズ、配色を選択できたことにほかならず、われわれが目的とした「視覚的アプリ弱者に対して円滑な利用を目指したUIの制作」を実現できたとも考えることができる。また同時に、このようなインターフェースの制作が視覚的アプリ弱者に対して有用であるという重要な知見を得ることができたと考える。

6. まとめ

本研究では、視覚的アプリ弱者でも円滑な利用を可能とするUIの制作し、その効果の分析と評価を行うため、アプリでの証明書申請実験をおこなった。その結果、大学生についてICFを利用することで申請時間は短くなる傾向が見られることが明らかとなったほか、「ControlからICF有り」では、ICFを利用することで申請時間が有意に短くなることが明らかとなった。健常者については色弱模擬フィルタを用いた実験であったが、この条件で一定の効果が明らかとなったことから今後は色覚障害を有する人などを対象とした効果の検証が必要であると考えられる。また視覚障害を有する高齢者の症状別の申請時間の多くで、ICF利用効果を明らかにすることができなかった。この要因には、各被験者の症状の違いや色弱の程度にあると考えられることから、今後は症状や色弱の程度を、評価スケールを用いて揃えた状態で検証を実施する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：色覚障害者の移動等円滑化に関する調査研究、http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/sosei_barrierfree_tk_000051.html (閲覧：2021.09)
- 2) 伊藤光学工業製、使用例：道路標識、カレンダー、<http://www.variantor.com/jp/index.php?%BB%C8%CD%D1%CE%E3> (閲覧：2021.09)
- 3) 池田 光男、小浜 朋子、久住 亜津沙、篠田 博之、一人の高齢者の白内障手術前後における物の見えと色の見えの比較、日本色彩学会誌 Vol. 28, No. 1, 26-35, Mar, 2004.
- 4) 伊藤 啓、カラーユニバーサルデザイン 色覚バリアフリーを目指して、情報管理 vol. 55 no. 5, 307-317, 2012.
- 5) 伊藤啓：カラーユニバーサルデザイン推奨配色セット、<https://jfly.uni-koeln.de/colorset/> (閲覧：2021.09)
- 6) 鷺巣敏行、文字のユニバーサルデザイン—ユニバーサルデザイン視点から見た読みやすい文字の開発経緯—、日本印刷学会誌、46 巻、3 号、131-136、2009.

展望・解説

REVIEWS

家具の材質と構造の違いによる転倒時の衝撃比較*

Comparative study on the impact of overturned furniture due to differences in material and structure

白石 照美 Terumi SHIRAIISHI**

阿部 眞理 Mari ABE**

森岡 大輔 Daisuke MORIOKA**

遠藤 和磨 Kazuma ENDO***

大久保恭利 Yasutoshi OKUBO****

Abstract

In Japan, where earthquakes occur frequently, the concept of indoor disaster prevention is increasingly gaining importance. A way to achieve it is by developing of furniture that causes less injuries to human beings due to overturning during an earthquake. The authors have been evaluating prototypes of furniture that contributes to indoor disaster prevention by working on weight reduction and elasticity using bamboo materials, and lowering of the center of gravity by modifying material distribution. In this report, we conducted overturn experiments using prototyped furniture. As a result, from the changes in acceleration and waveform at the time of collision, it was confirmed that the difference in furniture structure, material, weight, and center of gravity influences the impact due to overturn. Specifically, weight reduction has a great effect on impact reduction, and bamboo's elastic structure has the potential to reduce injury by absorbing impact and prevent rebound. Furthermore, it was suggested that a low center of gravity not only helps to prevent falls, but also contributes to reduce impact.

keywords: indoor disaster prevention, overturn impact, earthquake

1. はじめに

1995年の阪神・淡路大震災, 2011年の東日本大震災, 2016年の熊本地震, 2018年の北海道胆振東部地震というように, わが国では, 近年大きな地震が続いており, 発生地域も日本全土におよんでいる。今後も, 首都直下地震や南海トラフ地震の発生が予測されており, その確率も高まっているとされている^(注1)。これらの地震では津波や住宅の全半壊により, 大きな人的被害が発生していると同時に, 建物自体の被害が小さい場合でも室内に置かれた家具の転倒・移動による人的被害も多く報告されている^(注2)。対策として最も有効とされているのは, 金物による家具類の壁面固定である^(注3)。しかし, 最新の内閣府の調査(平成29年に実施)による住宅内の家具固定の状況は, 50%程度にとどまっており, 対策が急務とされている。筆者らは, 家具固定を促す内装デザインに関する研究^(注4)を進める一方で, 家具自体の軽量化の方法および弾性を有する材料や構造について検討を重ねてきた^(注5~7)。本報では, これらのシェルフ型家具について転倒を想定して行った実験の結果について報告する。

2. 試験体について

本報告で実施した転倒実験では6種の試験体を用いている。板組構造シェルフの試験体として, 一般的に家具材として使用されているMDF(Medium Density Fiberboard: 中質繊維版)と, 筆者らが軽量化と弾性化を目指して試作したタケ中

空構造シェルフ^(注5)。さらに弾性化と軽量化, 低重心化に加え, 転倒時の衝突面対策を施したタケフレーム構造シェルフの円筒形と角形^(注6)。また, 軽量でありながら家具用材としての強度を有する木質材として開発した針葉樹混合合板^(注7)を用いたフレーム構造シェルフと, 市販のラワン合板を用いた比較用の同型のシェルフである。

2.1 MDFシェルフ

MDFシェルフは, 比較用に制作したMDFを用いた板組構造のシェルフである(図1①, 図2①)。寸法は幅610mm, 奥行300mm, 高さ1098mm, 総重量は15.25kgで, 重心は底面から549mmの位置である。部材同士の接合には木ネジを用いている。

2.2 タケ中空構造シェルフ

タケ中空構造シェルフは, タケ集成材(縦積層)の挽板とタケ薄板成形合板^(注8)による中空構造である(図1②, 図2②)。薄く強度のあるタケ集成材挽板を主材としたことで, シェルフの重量を抑え, 部材配置の工夫で重心を下げている。また, 接合には皮トウとダボを組み合わせ, 接着や緊結を必要最低限にとどめることで振動吸収効果を持たせた構成としている。振動実験の結果, 棚の上段で幅方向の振動に対する減衰効果の発揮が確認できている^(注5)。寸法は幅610mm, 奥行300mm, 高さ1122mm, 総重量は9.65kgで, 重心は底面から507mm, 背面から140mmの位置である。

2.3 タケフレーム構造シェルフ

タケフレーム構造シェルフは, タケ材の弾性を活かしたフ

* 原稿受付 2021年12月15日

** 工学部デザイン学科

*** 工学研究科 情報・デザイン工学専攻

**** 田島ルーフィング株式会社



図1 各試験体外観

試験体	重量	高さ	重心位置
① MDF シェルフ	15.25 kg	1098 mm	549 mm
② タケ中空構造シェルフ	9.65 kg	1122 mm	507 mm
③ タケフレーム構造シェルフ (円筒形)	7.15 kg	1354 mm	220 mm
④ タケフレーム構造シェルフ (角形)	7.65 kg	1354 mm	320 mm
⑤ 針葉樹混合積層合板シェルフ	3.95 kg	1104 mm	552 mm
⑥ ラワン合板シェルフ	5.55 kg	1104 mm	552 mm

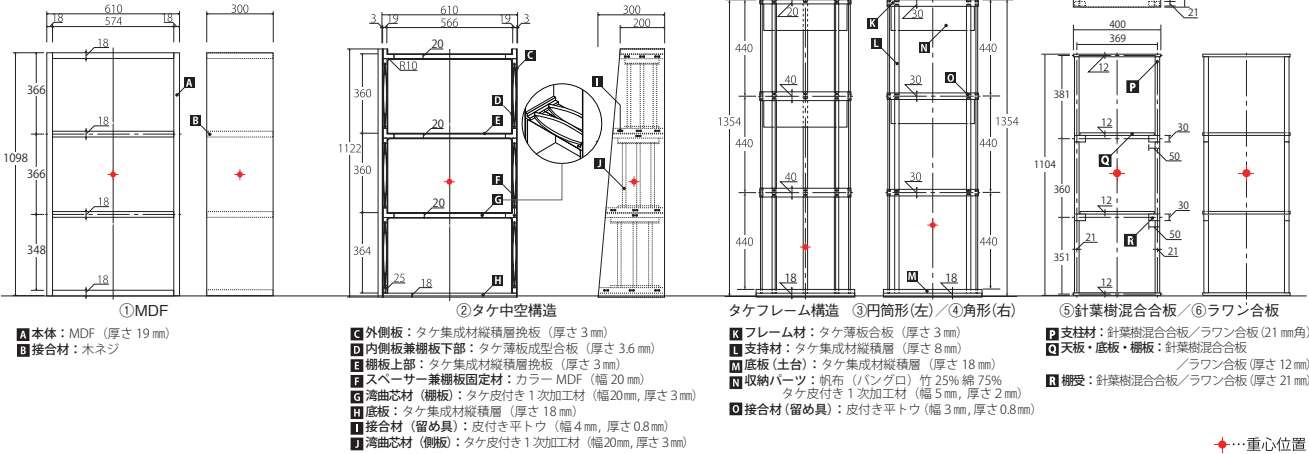


図2 各試験体詳細

フレームと布材を使用したカゴ状の収納パーツを組み合わせた4段構成で、円筒形シェルフ（図1③、図2③）と角形シェルフ（図1④、図2④）の2種である。フレームや収納パーツに軽量な部材、底板に比重が大きいタケ集成材を配することで重心を下げている。垂直支持材にはタケ集成材の挽板（断面寸法：8mm×20mm）、水平方向のフレーム材には垂直支持材を挟む形でタケ薄板成形合板を2重に配し、外周に対して弾性を持たせることで転倒・衝突時のダメージ軽減を図っている。各部材の接合については、支持材とフレーム材は皮トウとダボによる緊結とし、支持材は底板に差し込み、接着剤で固定している。収納パーツはフック状に曲げた皮付きのタケをフレーム材にかける構成である。寸法はいずれも幅450mm、奥行450mm、高さ1354mmである。重量は円筒形

で7.15kg、角形で7.65kg、重心は底面から円筒形で220mm、角形で320mmである。

2.4 針葉樹混合合板シェルフ

家具の軽量化の方法の一つとして、筆者らは複数の針葉樹材を積層した家具材の開発に取り組んでいる。ここでは、力学的性質・加工性・比重等の試験結果から家具材としての有効性を示したスギとスプルーを直交積層した針葉樹混合合板を用い、シェルフ型家具を制作した（図1⑤、図2⑤）。支柱材には断面寸法21mm角、天板・棚板・地板には厚さ12mmの針葉樹混合合板を用いている。支柱の一部には幅50mm、高さ30mm、厚さ21mmのパーツを挿入して棚受としている。寸法は幅400mm、奥行400mm、高さ1104mm、総重量

は3.95kgで、重心は底面から552mmの位置である。接合には木ダボを使用している。

2.5 ラワン合板シェルフ

針葉樹混合合板シェルフの比較用として、市販のラワン合板を用いて制作した試験体である（図1⑥、図2⑥）。部材構成と寸法は針葉樹混合合板シェルフと同じで、幅400mm、奥行400mm、高さ1104mm、総重量は5.55kg、重心は底面から552mmの位置である。

3. 転倒実験の概要

衝撃を受ける被験体には、身長175 cm、体重67.6kg（男性25歳の平均体重）の人体マネキンを用いた。被験体の体重設定には、錘を使用し、実験時の姿勢は仰臥位とした。試験体は、天板端面が被験体の腹部（体幹部）にあたるよう配置した。また、被験体の脚部から1040mm、背部から230mmの腹部（体幹部）に、加速度センサー（S&ME 社製 DL-111）を床面と水平を保つよう取り付け付けた。センサーと錘を設置した被験体と、実験の様子を図3に示す。転倒に際しては、試験体が自重で転倒する角度まで実験者の両手人差し指でゆっくりと押す方法をとった。転倒の回数はいずれの試験体も5回とし、データの収録周波数は1000Hzで計測した。なお、データの収録は、NI社のLabVIEW（2020）を用いて行った。

4. 転倒実験の結果

試験体が最初に被験体に衝突した際の加速度の最大値の平均を図4に示す。今回使用した加速度センサーでは $\pm 25.00\text{m/s}^2$ までしか計測できないため、計測範囲を超えた値については、加速度が安定して推移している範囲から近似直線を求め、近似直線の交点から推定値を算出している。最大値はMDFの73.31 m/s^2 、次いでタケ中空構造の52.75 m/s^2 、タケフレーム構造角形の20.97 m/s^2 、ラワン合板の20.26 m/s^2 、タケフレーム構造円筒形の11.45 m/s^2 、針葉樹混合合板の11.00 m/s^2 となった。

一元配置分散分析を行った結果、パートレット検定で $p < 0.001$ 、ルビン検定で $p = 0.0044$ を示し、各水準の母分散が等しく、1%水準で有意差があることを確認した。さらに多重比較を行った結果、フレーム構造同士の組み合わせ以外で、1%水準で有意差が確認できた（表1）。

図5に各試験体について衝突時の加速度の変化を示す代表的な波形を示す。類似する構成や材料（板組構造のMDFとタケ中空構造、タケフレーム構造の円筒形と角形、フレーム構造の針葉樹混合合板とラワン合板）で波形にも類似する傾向がみられる。

5. 考察および今後の課題

今回の実験は、構造、重量、サイズ、材料の異なる試験体を比較する形で実施した。それぞれ異なる要素が衝撃の軽減効果にどのように作用しているかについて考察する。

板組構造のMDFとタケ中空構造を比較すると、衝突時の加速度は約72%に軽減されていることが確認できた。しかし、中空構造の重量がMDFの約63%であること、既に振動の減衰効果が確認されていることから筆者らが予想していた程の衝撃の軽減効果は得られなかった。

一方、タケフレーム構造シェルフでは、重量が円筒形でMDFの約46%、角形で約50%であるのに対して、加速度は円筒形で約15.6%、角形で28.6%と大きく軽減されている。高さはMDFと比較して264mm高いが、重心位置が低いこと、フレーム構造と、タケ材の持つしなやかさが、転倒方向に対しての弾性を発揮し、転倒の衝撃をシェルフ自体が吸収していることが、加速度の変化を示す波形からも示唆されている。また、衝突面の弾性を期待して、水平フレームをタケ薄板合板で垂直支持材を挟んだ二重構造とした効果が含まれている可能性も考えられる。多重比較では円筒形と角形の間には有意差は確認できなかったが、円筒形のほうが加速度が抑えられていた要因として、約500gの重量差と約100mmの重心の高さの差があげられる。また、垂直支持材の配置が比較的均等な円筒形に比べて、コーナー部に偏りのある角型では、転倒時の形状の変形やねじれが生じやすいと考えられる。このことは円筒形と比較して計測誤差が大きい傾向にも表れている（図4）。

合板によるフレーム構造シェルフについては、MDFと比較して重量が針葉樹混合合板が約26%、ラワン合板が約36%である。加速度は、最も軽量の針葉樹混合合板が11.00 m/s^2 でMDFの約15.0%に抑えられており、ラワン合板が20.26 m/s^2 でMDFの約27.6%となり、針葉樹混合合板による軽量化の効果が確認できた。加速度の波形からは、プラス方向とマイナス方向への小刻みな変化が見られ、跳ね返りの現象が確認できる。これはMDFと比較して軽量で、かつタケフレーム構造と比較して弾性を有しないため、シェルフ本体が衝撃を吸収していないためと予測できる。

また、多重比較では有意差は確認できなかったが、針葉樹混合合板はタケフレーム構造円筒形とほぼ同等、タケフレーム構造角形と同等の加速度を示した。タケフレーム構造シェルフ（円筒形・角型）と合板シェルフ（針葉樹混合・ラワン）では、重量も高さも異なっているが、材料の特性と重心の位置が衝撃を軽減する可能性が示唆された。

本報告では、以上6種の試験体を用いて転倒実験を行い、転倒時に身体的衝撃を軽減する家具の構成要素について以下の指針を得た。ひとつは軽量化である。自明のことではあるが、板組構造よりフレーム構造のほうが軽量化に有利であ

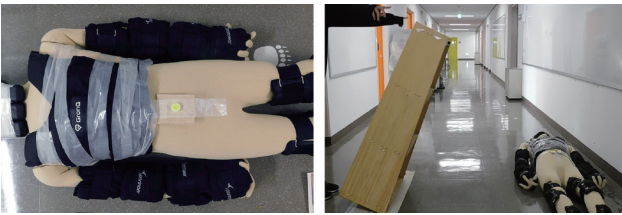
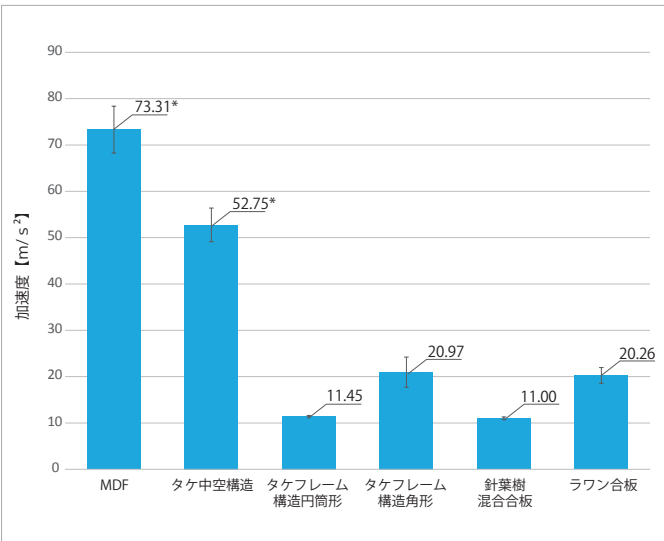


図3 錘とセンサーを設置した被験体と転倒実験の様子

表1 多重比較による有意差の検定

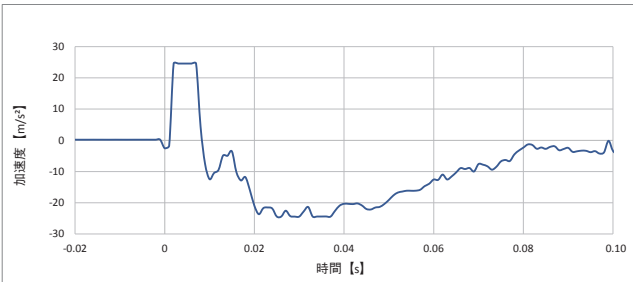
n=5 *:有意水準5% **:有意水準1%

	MDF	タケ中空構造	タケフレーム 円筒形	タケフレーム 角形	針葉樹 混合合板	ラワン合板
MDF		**	**	**	**	**
タケ中空構造			**	**	**	**
タケフレーム 円筒形				n.s.	n.s.	n.s.
タケフレーム 角形					n.s.	n.s.
針葉樹 混合合板						n.s.
ラワン合板						

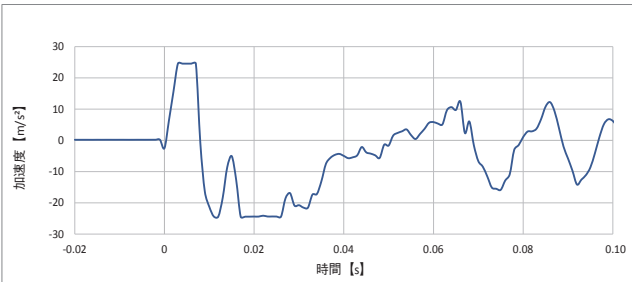


* 推定値を含む

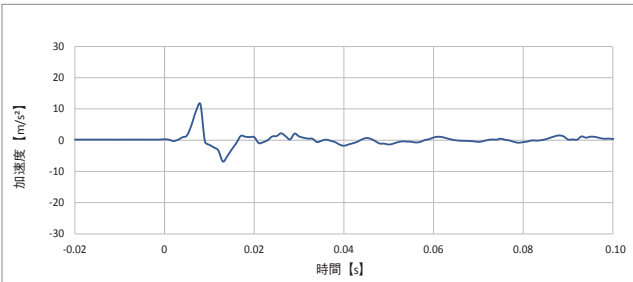
図4 転倒実験の結果（最大値の平均）



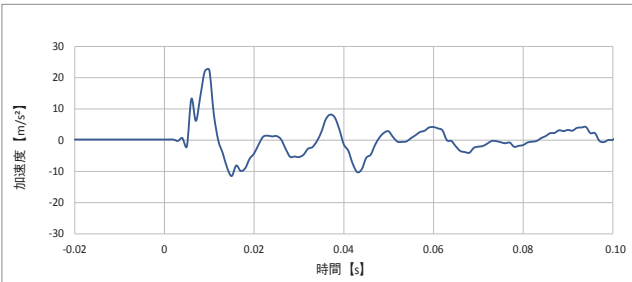
①MDF



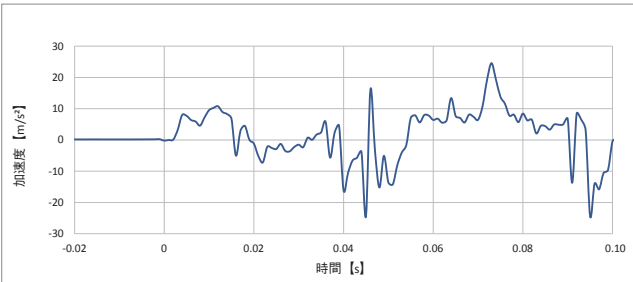
②タケ中空構造



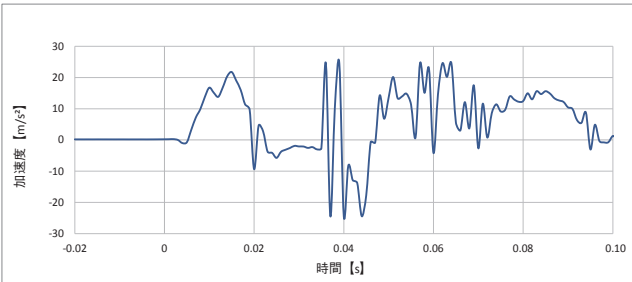
③タケフレーム構造 円筒形



④タケフレーム構造 角形



⑤針葉樹混合合板



⑥ラワン合板

図5 各試験体の代表的な加速度波形

り、さらに材料自体の軽量化により衝撃が軽減されることが改めて確認された。家具材としての有効性（力学的性質・物理的性質・加工性など）を保持した軽量な木質材の開発の意義が確認できた。次いで、弾性を有する構造である。板組構造とフレーム構造では、フレーム構造のほうが有利であり、さらに、加速度の波形からタケ材を用いたフレーム構造では、転倒の衝撃を家具本体が吸収している可能性が示唆された。また、重量7.15kgのタケフレーム構造円筒形と3.95kgの針葉樹混合合板で同等の加速度を示したことは、低重心が家具自体の倒れにくさに加えて、衝撃の軽減にも寄与していることを示唆している。

今後は、衝突面の対策についてさらに詳細に検討するとともに、家具としての収納性の確保、安全な収納行動を促すデザインについての検討を進めていくことが必要と考えている。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科学研究費20K12515の助成によるものです。

注および参考文献

- 1) 国土交通省：令和3年版国土交通白書（PDF版：<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r02/hakusho/r03/pdf/kokudo.pdf> 2021.10.15.閲覧），pp.22-25, 2021.
- 2) 東京消防庁：家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック（PDF版：<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/hp-bousaika/kaguten/handbook> 2021.10.15.閲覧）p.1, 2021.
- 3) 東京消防庁：前掲2） pp.10-12
- 4) 白石 照美，阿部 眞理，小幡谷 英一，沈 得正：金具による家具固定のための壁面デザイン提案，拓殖大学理工学研究報告，Vol.15, No.1, pp. 37-44, 2018.
- 5) 白石 照美，妹尾 涼，阿部 眞理，森岡 大輔，大久保 恭利：室内防災に寄与するタケ中空構造シェルフの試作，日本デザイン学会 デザイン学研究作品集，Vol.1, No.1, pp. 8-13, 2020.
- 6) 遠藤 和磨，白石 照美，阿部 眞理，森岡 大輔：タケを主材としたシェルフ型家具の転倒による衝撃比較，日本デザイン学会 第68回春季研究発表大会概要集，2020.
- 7) 大久保 恭利，阿部 眞理，白石 照美，森岡 大輔：家具転倒時の身体的衝撃を軽減する針葉樹混合積層材の開発，日本デザイン学会 第68回春季研究発表大会概要集，2020.
- 8) 今回用いたタケ薄板成形合板とは、厚さ0.9mmのタケ薄板合板(厚さ0.3mm程度のタケ集成材突板を3枚による合板)を型を用いて4枚積層ものを指す。

抄録

ABSTRACTS

寒地北海道における水稻への尿素の側条施肥*

Effects of urea application on rice growth in a cold area

岡田佳菜子 Kanako OKADA**

佐藤 佑樹 Yuki SATO**

河合 輝 Akira KAWAI**

角田 憲一 Kenichi KAKUDA***

Abstract

This study was conducted to clarify the effects of side dressing with a urea nitrogen fertilizer on rice growth over 2 successive years. When urea was side dressed on the paddy rice, the number of tillers was higher in comparison to paddy rice without the urea side dressing starting at 15 days after transplanting, and the grain yield increased due to the higher number of spikelets per square meter. The milled rice protein contents were lower in the rice grown with the urea side dressing. Therefore, we concluded that the plant growth and grain yield of paddy rice were comparable between the rice grown with the urea side dressing and that grown with an ammonium side dressing.

keywords: 初期生育, 窒素, 土壌中アンモニア態窒素, 葉色

1. はじめに

作物への施肥は過不足のないよう行うことが基本である。適切な施肥を行い収量および品質の高い作物をえることにより、肥料コストの低減および環境への負荷を抑えることが出来る。側条施肥は寒地における稲作の安定化に欠かせない施肥技術である。北海道において水稻に窒素を側条施肥した場合、移植30日までの茎数は増加し、有効茎決定時期の早まることが明らかとなっている¹⁾。一方、側条施肥をすると窒素の吸収量が増加し、籾数過剰となり、玄米品質の低下する恐れのあることが指摘されている²⁾。そのため、水稻では側条施肥を施肥法に組み込む場合、施肥標準量から窒素0.5kg/10aを減肥するよう指導されている³⁾。

国内の水田では一般的に基肥として高度化成を使い、窒素原料としてアンモニア系の肥料を使用する。尿素はアンモニア系肥料と比べ、肥料中の窒素含有率の高いことから窒素当たり価格が安く、散布時の作業軽減につながる⁴⁾。しかし水田において尿素を使用する機会は限られている。尿素は土壌に散布後、加水分解を経てアンモニアとなり水稻に吸収される。従って、施肥直後に湛水すると田面水中の尿素は溶脱および流亡する恐れがある。北海道において尿素を全層施肥した場合、施肥から6日で加水分解の完了することから、施肥後は一週間入水を控えるよう指導されている⁵⁾。一方、尿素を側条施肥すると全層施肥と比べ高濃度で土壌中に存在することになり、加水分解速度やその後の肥料の挙動に影響を及ぼすことが予想される。

そこで本試験では、尿素を側条施肥した時の水稻の生育と収量および玄米品質に及ぼす影響を硫酸の場合と比較し、水田における適切な尿素の施肥方法を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

本試験は2016年と2017年に北空知管内の深川市拓殖大学北海道短期大学水田で実施した。供試圃場は細粒質腐植質褐色低地土に分類され、土壌の化学性(0~10cm)は、pH(H₂O)5.5、腐植含量9.1%、湛水培養窒素(40℃1週間)12mg/100g、CEC33meq/100gであり、日減水深は1.9cmである。

品種「ななつぼし」の成苗ポット苗を株間と条間0.13m×0.33m、栽植密度23.3株/m²となるよう、2016年と2017年の5月29日にそれぞれ機械移植した。リン酸とカリの施肥はそれぞれ7,6g/m²を全層に混和した。窒素は全層施肥と側条施肥を行い、全層施肥は全ての処理区において8g/m²の窒素を代かき後に散布し、再度代かきを行い混和した。側条施肥は、株元から横3cmの位置に幅2cmとなるよう深さ4cmに行った。処理区は側条施肥量の異なる3処理(0, 2, 4 g N/m²)と2種類の窒素肥料(硫酸, 尿素)を組み合わせ、硫酸8-0, 硫酸8-2, 硫酸8-4, 尿素8-0, 尿素8-2, 尿素8-4の合計6処理区とした。一区当たり面積は83m²、反復は4として乱塊法で実施した。

3. 硫酸側条施肥による水稻生育への影響

試験を行った2016年と2017年の気象の特徴として、2017年は移植直後の6月に低温・低日照となったが、北空知管内の作況は2016年102、2017年103となり両年とも良好であった。

本試験を行った圃場における窒素の施肥標準量³⁾は、全量全層施肥の場合は10.0kg/10a、側条施肥を組み合わせた場合は9.5kg/10aであり、本試験の8-0区はこれらと比べ2kg少なく、8-2区は0.5kg多く、8-4区は2.5kg多く窒素を施肥することになる。これらを考慮しながら硫酸区の考察をすすめると、側条施肥区の総窒素施肥量は標準より多く、2016年は硫酸の側条施肥区は籾数過剰となったため増収にはつながらなかったと考えられる(表1)。また、側条施肥により硫酸8-4の有効茎決定時期は早まったが(表2)、玄米の外観品質を示す整粒歩合の高まることはなく、これは籾数過剰であったためと考えられる(表1)。これに対して2017年はどの処理区も

* 原稿受付 2021年10月22日

公益財団法人 北農会 機関誌「北農」第88巻第1号 2021年1月 pp.18-24

** 拓殖大学北海道短期大学農学ビジネス学科

*** 山形大学農学部

表1 収量および玄米品質

年次	処理区	精玄米重 (kg/10a)	屑米 (kg/10a)	稈数 (千粒/m ²)	穂数 (本/m ²)	一穂稈数 (粒/本)	登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g)	整粒歩合 (%)	精米タンパク質 含有率(%)
2016年	硫安8-0	599 (100)	84	33.8	606	55.8	87.6	22.4	93.8	7.2
	硫安8-2	588 (98)	103	36.5	673	54.2	84.3	22.3	93.5	7.5
	硫安8-4	588 (98)	105	35.2	647	54.5	82.1	22.2	93.8	7.4
	尿素8-0	528 (88)	69	33.3	574	58.0	84.8	22.5	95.5	7.3
	尿素8-2	560 (93)	80	34.2	620	55.1	87.5	22.5	95.2	7.0
	尿素8-4	568 (95)	85	34.6	606	57.2	83.7	22.4	95.1	7.1
分散分析	種 類	ns	**	ns	*	ns	ns	*	**	*
	施 肥 法	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2017年	硫安8-0	669 (100)	36	29.3	510	57.5	90.9	23.0	83.6	7.1
	硫安8-2	687 (103)	24	29.8	503	59.1	90.7	23.2	85.3	7.3
	硫安8-4	676 (101)	32	35.2	519	67.9	92.6	23.1	84.1	7.4
	尿素8-0	613 (92)	21	28.5	484	58.8	88.5	22.9	87.3	7.1
	尿素8-2	639 (96)	21	30.0	476	63.0	89.9	23.3	87.4	7.0
	尿素8-4	620 (93)	23	30.5	495	61.6	92.2	23.1	87.5	7.0
分散分析	種 類	**	**	ns	*	ns	ns	ns	*	**
	施 肥 法	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを, nsは有意でないことを示す。
カッコ内はその年の硫安8-0精玄米重に対する割合を示す。

表2 茎数および穂数の推移

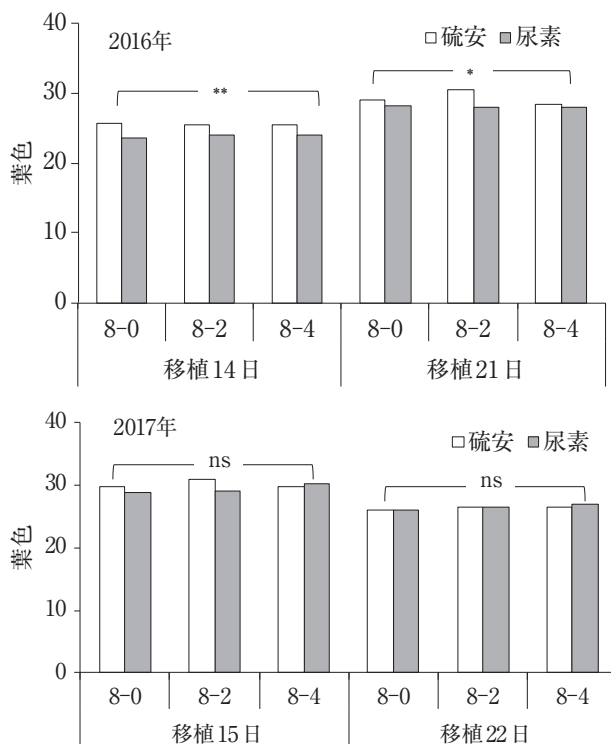
		移植後日数 (日)							
		14	21	28	35	42	48	61	114
2016年	硫安8-0	87 (100)	91 (100)	151 (100)	276 (100)	427 (100)	596 (100)	581 (100)	606 (100)
	硫安8-2	89 (102)	91 (100)	151 (100)	299 (108)	489 (115)	626 (105)	607 (104)	673 (111)
	硫安8-4	86 (99)	97 (106)	167 (110)	318 (115)	523 (122)	654 (110)	644 (111)	647 (107)
	尿素8-0	82 (93)	89 (98)	151 (100)	282 (102)	394 (92)	536 (90)	571 (98)	574 (95)
	尿素8-2	83 (95)	92 (101)	175 (115)	337 (122)	446 (104)	549 (92)	629 (108)	620 (102)
	尿素8-4	82 (93)	94 (103)	163 (108)	289 (105)	470 (110)	649 (109)	633 (109)	606 (100)
分散分析	種 類	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
	側条施肥	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		移植後日数 (日)							
		15	22	29	36	43	50	59	99
2017年	硫安8-0	135 (100)	161 (100)	280 (100)	471 (100)	524 (100)	578 (100)	535 (100)	510 (100)
	硫安8-2	144 (106)	164 (108)	308 (110)	468 (100)	534 (102)	581 (101)	540 (101)	503 (99)
	硫安8-4	138 (102)	176 (109)	304 (109)	492 (105)	566 (108)	620 (107)	547 (102)	519 (102)
	尿素8-0	145 (107)	165 (102)	291 (104)	465 (99)	528 (101)	561 (97)	490 (92)	484 (95)
	尿素8-2	152 (112)	196 (122)	294 (105)	484 (103)	552 (105)	558 (97)	553 (103)	476 (93)
	尿素8-4	154 (114)	183 (114)	291 (104)	478 (102)	541 (103)	541 (94)	512 (96)	495 (97)
分散分析	種 類	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
	側条施肥	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを, nsは有意でないことを示す。
カッコ内は同一日の硫安8-0区に対する茎数割合を示す

稈数レベルの低くなったことから硫安8-2と硫安8-4は硫安8-0と比べやや増収し、側条施肥による増収効果をえられた。また2017年は刈り取り時期が適期の20日後となり遅かったことも増収要因であろう。一方、お米の食味指標となる精米タンパク質含有率は硫安8-0と比べ硫安8-2、硫安8-4において兩年ともやや高くなり、北海道米の目標タンパク値7.0%以下を上回り、目標値を達成できなかった（北海道，2015）。これは側条施肥により分けつ過剰となったことにより、登熟期間の草型が乱れ、吸収窒素の玄米生産効率が低下したためと推察される。これらの結果から、硫安では側条施肥を組み込んだ場合、精米タンパク質含有率の高まる恐れのあることから、従来通り総窒素施肥量からの減肥が必要であることを改めて確認できた。

4. 尿素的全層施肥による水稻生育への影響

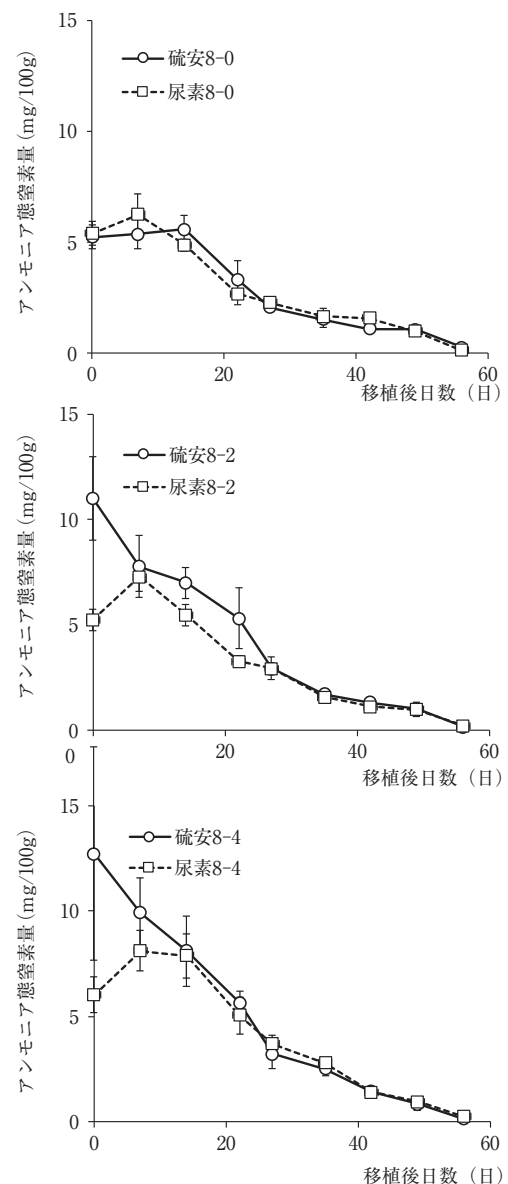
尿素8-0区と硫安8-0区の生育を比較すると、2016年に尿素を施肥したときの葉色は、硫安を施肥した場合と比べ移植14日において有意に低くなった（図1）。これは移植直後の尿素区の茎数が硫安と比べ少なく、初期生育の劣る傾向と一致する（表2）。移植後の尿素区において葉色の低くなる理由として、加水分解による影響が考えられる。移植後の作土0-10cmにおける土壌中のアンモニア態窒素量は、硫安8-0と比べ尿



*, **はそれぞれ5%, 1%水準で肥料間で有意であることを、nsは有意でないことを示す。

図1 年次ごとの生育初期の葉色

素8-0で一週間遅れてピークを迎えており、この間に尿素区に施肥した尿素的加水分解が進んだものと考えられる（図2上段）。一方、尿素8-0区では硫安8-0区と比べ兩年ともに玄米収量は減少した（表1）。これは尿素区において穂数及び稈数の少なくなったためであった。尿素8-0区の茎数をみると、2016年は移植42日（出穂22日前）以降、2017年は移植50日（出穂10日前）以降に硫安8-0区より少ない傾向となった（表2）。また精米タンパク質含有率は尿素8-0区で低くなった。これらのことから、尿素8-0区では生育中頃以降の窒素の吸収が硫安8-0と比べ少なかったと推察される。尿素区では全層施肥した尿素が田面水から流亡し、窒素吸収量の減少につながったと考えられる。本試験では代かき後に尿素的を施肥・



縦棒は標準誤差を示す

図2 2016年の土壌中アンモニア態窒素量

混和したが、代かき前に施肥・耕起し、加水分解後に入水した場合は、硫安と同等の生育量を得られると考えられる。

5. 尿素の側条施肥による水稻生育への影響

本試験において尿素を側条施肥した区の土壤中アンモニア態窒素量のピークは硫安を側条施肥した時と比べ遅れた（図2）。しかし、尿素を側条施肥した場合、幼穂形成期（2016年移植28日、2017年移植29日）までの茎数は尿素8-0区と比べ1から2割増加し、硫安を側条施肥した場合と同程度の初期生育を促進する効果のあることが明らかとなった（表2）。尿素の初期生育促進効果は、初期生育の遅れた2016年と、通常気象年の2017年ともに認められた。これらの結果は尿素肥料を側条用に使用すると硫安と同程度の効果の見込めることを示している。また尿素を側条施肥した作土のアンモニア態窒素量は、施肥直後と一部をのぞき硫安と変わらなかった（図2中、下段）。したがって尿素を側条施肥した場合、揮散・溶脱による肥料の損失は大きくないと考えられる。本試験を行った水田の日減水深は1.9cmと比較的大きいことから、これより減水深の小さい水田では尿素の側条施肥による初期生育促進効果を得られると判断した。

6. 結言

本試験では寒地北海道の褐色低地土水田において、尿素を全層施肥および側条施肥したときの水稻の生育及び収量に及ぼす影響を二か年に渡り明らかにした。本試験より得られた結論は以下のとおりである：

(1) 硫安では側条施肥を組み込んだ場合、全量全層施肥とした場合と比べ精米タンパク質含有率の高まる恐れのあることから、従来通り総窒素施肥量からの減肥が必要である。

(2) 尿素を全層施肥した場合、硫安を全層施肥した場合と比べ減収した。これは、尿素を施肥すると出穂前10から22日以降の生育が停滞し、穂数の少なくなるためであった。

(3) 尿素による側条施肥は、硫安を側条施肥した場合と比べ、移植直後の生育が一時的に停滞した。しかし、その後は尿素の側条施肥による初期生育促進効果が認められ、収量は硫安の側条施肥とかわらなかったことから、寒地における尿素の側条施肥は硫安の側条施肥と同程度の効果を得られると判断した。

謝辞：本研究は、「拓殖大学理工学総合研究所研究助成」の支援により玄米外観品質の分析（穀粒判別機ES-V、静岡製機）を2018年に実施したことをここに記し、関係各位に謝意を表します。

6. 引用文献

- 1) 三浦周・坂本宣崇・古山芳廣：寒地における側条施肥水稻に対する窒素追肥の影響，北海道立農業試験場集報，63, 31-39, 1991.
- 2) 土居晃郎・古山芳広：水稻に対する側条施肥の表層施肥効果，北農，52, 45-56, 1985.
- 3) 北海道農政部：北海道農政部北海道施肥ガイド2015, p.19, 2015.
- 4) 農林統計協会：農林統計協会ポケット肥料要覧2019/2020, p.57, 2019.
- 5) 北海道農政部：北海道農政部水稻に対する粒状化成の側条施肥効果，昭和59年普及奨励ならびに指導参考事項，p.323-327, 1984.

理工学総合研究所員及び研究課題一覧
RESEARCHERS & TITLES
(2021 年度)

機械システム工学科

ロボット制御 香川 美仁 教 授 博士（工学）	• 2脚ロボットの歩行軌道創出に関する研究 • リハビリテーション支援ロボットの研究 • ロボット・セラピーの研究
接着・設計 木原幸一郎 教 授 博士（工学）	• 接着接合の構造物への応用 • 衝撃負荷を受ける接着接合体に関する研究 • CADシステムを用いた機械加工及び組み立て図面の作図方法
機械力学 鈴木 保之 教 授 博士（工学）	• 圧電素子やSMAを利用した機械構造物の振動抑制方法に関する研究 • 弾性ロータの釣合せに関する研究
流体力学 藤本 一郎 教 授 工学博士 平野 孝典 准教授 博士（工学）	• ジェットエンジンのエアロダイナミックスに関する研究 • ターボ機械の非定常空力特性と性能向上に関する研究 • 電気自動車の高効率化に関する研究 • 飛行物体の飛行制御に関する研究
熱物性 松永 直樹 教 授 工学博士	• ガスクロマトグラフ法（テイラー法）による気体の拡散係数の測定 • 蒸発管法（ステファン法）による気体の拡散係数の測定 • バイオディーゼル燃料の物性に関する研究
計算力学 吉田 勉 教 授 工学博士	• 最適設計に関する研究 • 材料物性測定に関する研究 • 構造物に作用する外力の固有振動数による測定
ユーザ支援型知的システム 茂木 学 准教授 博士（工学）	• ロボットの知的動作創発に関する研究 • IoTを活用したユーザ等の状態推定に関する研究 • 革新的な情報提示UI創出に関する研究
機能設計 森 きよみ 准教授 博士（工学）	• 耐熱性新素材の開発と高温物性の評価 • エネルギー源となる植物を生産するための植物プラントシステムに関する研究 • ソフトアクチュエータを応用したマイクロロボットの開発研究
情報生体システム 西川 佳男 助 教 博士（工学）	• 生体信号を利用したインターフェースに関する研究 • 体の動きを生体信号から間違えずに推定するシステムの構築

電子システム工学科

機械学習・ニューラルネット 小川 毅彦 教授 博士（工学）	・高次元ニューラルネットの学習・推定とその応用に関する研究 ・筋電位による生体動作の認識・評価とその応用に関する研究 ・自律移動ロボットの軌道計画および制御とその応用に関する研究
医工学 長谷川 淳 教授 博士（工学）	・音響的方法による人工弁機能診断に関する研究 ・光学式センサによる振動現象の可視化に関する研究 ・振動型マイクロインジェクション法に関する研究 ・生体情報によるフライトシミュレータ訓練の評価に関する研究
デジタル信号処理 林 誠治 教授 博士（工学） 渡邊 修 教授 博士（工学）	・タッチレスインタフェースによる情報提供に関する研究 ・広帯域音声拡張法における高域利得調整フィルタに関する研究 ・カメラおよび移動機構を実装した音声認識合成ソーシャルロボットの製作 ・生体認証デバイスを用いた出席管理と鍵開閉連動システムに関する研究 ・高効率画像符号化に関する研究 ・画像検索技術に関する研究 ・国際標準化（JPEG, JPEG 2000 等）に関する研究
通信・ネットワーク 前山 利幸 教授 博士（工学）	・アンテナ・電波伝搬に関する研究 ・ワイヤレス通信技術を応用した IoT に関する研究 ・次世代ワイヤレス通信技術に関する研究 ・電磁環境、電磁解析に関する研究
非線形回路・非線形システム 三堀 邦彦 教授 博士（工学）	・電子回路のカオスの解析とその応用に関する研究 ・強化学習アルゴリズムとその応用に関する研究 ・マルチエージェントシステムとその応用に関する研究
超伝導エレクトロニクス・カオス応用 吉森 茂 教授 工学博士	・超伝導送電に関する研究 ・超伝導電力貯蔵に関する研究 ・テラヘルツ領域におけるジョセフソン・テトロードの応用に関する研究 ・超伝導マイクロストリップ線路に関する研究
超音波工学 渡辺 裕二 教授 工学博士	・超音波発生用振動体に関する研究 ・超音波の応用に関する研究 ・圧電素子の応用に関する研究
行動認識・ロボットシステム 何 宜欣 准教授 博士（工学）	・センサーによる人間の日常生活及び生活リズムに関する研究 ・データマイニングによる情報推薦に関する研究 ・ロボット及びモバイル端末によるユーザーインターフェースの開発に関する研究 ・拡張現実(AR) 及び仮想現実(VR) による情報提供に関する研究
ミリ波工学 常光 康弘 准教授 博士（工学）	・ミリ波帯ラジアルラインスロットアレーアンテナに関する研究 ・ミリ波帯平面導波管スロットアレーアンテナに関する研究 ・ミリ波帯超広帯域FMCW レーダーに関する研究 ・無人探査機搭載用ミリ波帯センサに関する研究

情報工学科

教育情報工学 佐々木 整 教 授 博士（工学）	・スマートデバイスの教育利用に関する研究 ・教育ビッグデータの分析・活用に関する研究 ・不登校児童生徒の学校復帰支援に関する研究
計算機支援設計 高橋 丈博 教 授 博士（工学）	・コンピュータを用いた回路実装設計支援技術に関する研究 ・電磁ノイズ発生メカニズムと低減技術の研究 ・画像を用いたロボット制御
プログラム解析 西田 誠幸 教 授 博士（工学）	・プログラム解析を利用したソフトウェアの脆弱性検出 ・セキュアプログラミング支援環境 ・安全な Web アプリケーションの開発支援環境
計算機システム工学 早川 栄一 教 授 博士（工学）	・組み込みシステムを対象とした高信頼オペレーティングシステムとシステムソフトウェア環境 ・システムプログラミング教育支援環境 ・次世代コミュニケーション支援システム
知識処理 水野 一徳 教 授 博士（工学）	・知的推論のための組合せ探索アルゴリズムの開発と効率評価 ・制約充足パラダイムによる知識処理と問題解決支援 ・マルチエージェントによる複雑現象シミュレーション
高信頼性システム工学 蓑原 隆 教 授 工学博士	・ワンタイムアドレスを利用したIPv6 通信のプライバシー向上 ・仮想ネットワークを利用したスケーラブルなハニーポットファームの実現 ・競合学習型ニューラルネットワークの耐故障化
画像工学 諸角 建 教 授 工学博士	・不可視情報の可視化 ・映像の持つ潜在的情報の抽出と機械学習を利用した認識 ・色情報と形状特徴を利用した物体抽出
自然言語処理 寺岡 丈博 准教授 博士（学術）	・単語間概念関係を用いた比喩表現の検出と言い換え ・動詞に関する連想オントロジーの構築と自動拡張 ・言葉の連想に基づいた語彙学習システムの開発と評価
形式手法・システム検証 島川 昌也 助 教 博士（工学）	・ソフトウェア仕様の形式検証に関する研究 ・形式仕様からのシステム合成に関する研究 ・セキュリティプロトコルの安全性検証に関する研究
プログラミング言語処理系・機械学習・歴史情報学 澄川 靖信 助 教 博士（理学）	・コンパイラのコード最適化の研究 ・機械学習を用いた歴史学の研究 ・機械学習を用いた歴史教育の研究

デザイン学科

用品設計 阿部 眞理 教 授 博士（工学）	• 木材料の開発と製品への応用 • 防災に関わる生活用品デザインの研究
感性メディアデザイン 大島 直樹 教 授 博士（デザイン学）	• 感覚間相互作用（クロスモダリティ）を活用した感性メディアデザインの研究 • 創造活動を活性化させる記憶操作の研究
感性インタラクション 岡崎 章 教 授 博士（感性科学）	• チャイルドライフ・デザインに関する研究 • デザインにおける感性操作と感性評価に関する研究
コミュニティデザイン 工藤 芳彰 教 授 博士（工学）	• コミュニティデザイン支援に関する研究 • デザインの歴史文化に関する地域研究
室内設計 白石 照美 教 授 博士（工学）	• 内装用材の特性研究とデザイン開発 • 室内防災に寄与するインテリアアイテムの研究・開発
プロダクトデザイン アルバレス・ハイメ 准教授 博士（造形）	• 防災製品デザインに関する研究 • ものづくりによるソリューションデザインの探求 • デザイン理論・方法論・実践の視点から「機能」の概要を再構築する研究
視覚デザイン 小出 昌二 准教授	• プリントメディアを主としたコミュニケーションに関する研究 • 印刷加工と平面構成に関する研究と制作
シビックデザイン 永見 豊 准教授 工学修士	• 橋梁デザインにおける機能性，経済性，優美性に関する研究 • 錯視効果を利用した交通安全対策に関する研究 • 地域活性化に関する研究
ヒューマンコンピュータインタラクション 崔 烘碩 助 教 博士（工学）	• 全地球動画を用いたインタラクティブメディア研究 • VR インターフェイス研究
ユーザエクスペリエンスデザイン 森岡 大輔 助 教 博士（工学）	• 福祉用具の形状設計に関する研究 • デジタル技術を応用した装具設計支援システムの開発に関する研究

基礎教育系列・その他

ユニタリ表現論 青木 茂 教 授 理学博士	半単純対称空間上の調和解析
文学 大森 裕二 教 授 文学修士	- アメリカ演劇 - 比較文学
解析学 織田 寛 教 授 博士 (数理科学)	- 実簡約Lie群の表現論と次数Hecke環の表現論の関係 - Riemann対称空間上のベクトル束に対する調和解析
日本語 小林 伊智郎 教 授 修士 (日本語日本文学)	- 日本語学 - 日本語教育学
理論物理学 鈴木 康夫 教 授 理学博士	- 物理教育研究 - ソフトマター物理学 - ブラックホール
素粒子理論 関野 恭弘 教 授 博士 (理学)	超弦理論による宇宙論とブラックホールの研究
数理解析学 川本 敦史 准教授 博士 (数理科学)	- 偏微分方程式に対する逆問題の研究 - 異常拡散現象の研究
英語教授法 小島 和枝 准教授 博士 (人文科学)	- 語学習得モチベーション - 教材研究 - 資格英語研究
体育 コーチング学 米重 修一 准教授 学士 (経済学)	- 運動連鎖とランニングフォームの関係 - 初動負荷走法 - ランニングエコノミー
画像解析 (外国語学部) 日比 哲也 准教授 工学修士	- 色彩情報を利用した交通標識の画像認識システムの開発 - 視覚情報を認知する自動運転支援システムの開発 - GPSを利用した自動航法システムの開発
農業総合入門 (国際学部) 竹下 正哲 教 授 博士 (農学)	- イスラエル農業 - ドリップ灌漑システム - 世界の農業
作物学・農学 (拓殖大学北海道短期大学) 田中 英彦 教 授 博士 (農学)	- 水稻の省力生産技術に関する研究 - 水田水温を用いた水稻の幼穂形成期予測モデルに関する研究 - 黒米の品種改良
栽培土壌学 (拓殖大学北海道短期大学) 岡田 佳菜子 准教授 博士 (農学)	- 水稻の養水分環境 - 水稻移植栽培への窒素質肥料の利用 - 深川市蛇紋岩質土壌における水稻初期生育不良 - 北海道における水稻直播栽培と生育環境

理工学系専任教員研究活動一覧・他

ACADEMIC REPORTS & SOCIAL ACTIVITIES

(2020 年 4 月～2021 年 12 月)

【研究業績および研究活動区分】

原稿及び翻訳＝著書 学位論文＝学論 学術論文＝論文 学会等の受賞＝受賞

学会誌掲載の展望・論説等＝展望または論説 調査報告書＝調査 新聞・専門誌への寄稿等＝寄稿

技術等解説＝解説 招待講演＝招待 国際会議・海外・国内シンポジウム等での発表（審査付）＝討論

大会口頭発表・学会研究会＝口頭 学会等の運営＝運営 学会誌及び各種の審査＝審査

団体または企業よりの依頼製作＝依頼 コンペ・団体展公募＝公募 招待出品及び指名設計，依頼出品＝作品

団体・個人展覧会＝展示

機械システム工学科

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
香 川 美 仁	学術論文	少人数スタッフで実施する集団実施 RAR の環境構築に関する考察	日本ヒューマンケア・ネットワーク学会誌 18(1)	2020 年 8 月	共著	90-94
香 川 美 仁	学術論文	電極貼り直しに対してロバストな表面筋電位による動作識別システムの研究	拓殖大学理工学研究報告, Vol.18	2021 年 3 月	共著	pp.21-26
香 川 美 仁	学術論文	Decision-Making of Communication Robots Through Robot Ethics	Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.25 No.4	2021 年 7 月	共著	p.467-p.477
香 川 美 仁	招待	軽度認知症高齢者を対象としたロボット介在活動	第 8 回 NPO GCM 交流フォーラム	2020 年 12 月	単著	3-1
香 川 美 仁	運営	副主査	(公) 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 ロボット・セラピー部会	2020 年 1 月～ 2021 年 12 月		
香 川 美 仁	その他	【特許】：感性情報を用いたりハビリテーション支援ロボット	【公開番号】特開2021-28108 (P2021-28108A)	2021 年 2 月		
木 原 幸 一 郎	運営	競技委員	中央職業能力開発協会 技能五輪全国大会「機械製図」職種	2004 年 4 月～		
木 原 幸 一 郎	運営	技能検定委員	中央職業能力開発協会「機械・プラント製図」	2013 年 6 月～		
松 永 直 樹	学術論文	Stefan 法による有機化合物蒸気の空気に対する拡散係数の測定(第三報 CFC113—空気系およびトリクロロメタン—空気系)	熱物性 第 35 卷	2021 年 5 月	単著	
松 永 直 樹	運営	委員	日本工業標準調査会化学製品技術専門委員会	2011 年 4 月～ 2021 年 3 月		
吉 田 勉	運営	講習会講師	接着接合に関わる有限要素法について	2007 年 11 月～		
平 野 孝 典	学術論文	パラドックスを再現したアーチェリーのシューティングマシンの製作と性能評価	拓殖大学理工学研究報告 Vol.18	2021 年 3 月	単著	27-31
平 野 孝 典	運営	委員	日本ガスタービン学会学術講演会	2006 年 6 月～		
平 野 孝 典	運営	委員	(公) 日本ガスタービン学会学術講演会委員会	2010 年 4 月～		
平 野 孝 典	運営	代議員	ターボ機械協会	2021 年 5 月～		
茂 木 学	学術論文	人間の選択動作とカメラ画像を学習することによる二足歩行ロボット自律動作創発	信学技報, vol.121, no.111, LOIS2021-15,	2021 年 7 月	単著	pp.18-23
茂 木 学	運営	会計幹事	電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーショングループ(HCG)	2018 年 5 月～ 2020 年 5 月		
茂 木 学	審査	論文査読	情報処理学会 グループウェアとネットワークサービス研究会論文誌特集号	2020 年 4 月		
茂 木 学	その他	サイネージ提示システム	特許登録 特許 6776406	2020 年 10 月	共著	
森 き よ み	著書	接着・接合の支配要因と最適化技術 第 1 章 接着・接合・密着の支配要因とメカニズム 3 節 接着・接合部の形状と応力発生メカニズム	S&T 出版	2021 年 2 月	共著	
森 き よ み	学術論文	構造用金属ラップ接着継手の強度設計のための接着強度試験法	日本接着学会誌 Vol.56, No.6	2020 年 6 月	単著	225-239
森 き よ み	学術論文	多層遮熱コーティング材の衝撃加振による高温下弾性率測定システムの開発	実験力学, Vol.21, No.3	2021 年 9 月	共著	215-221
森 き よ み	口頭	接着評価「構造用接着継手の強度設計の手法」	日本接着学会 接着入門講座(第 23 回) 講師	2020 年 9 月		
森 き よ み	口頭	耐熱性無機接着剤を用いた接着継手の強度に及ぼす諸因子	日本接着学会 構造接着・精密接着研究会 2020 年度第 2 回研究講演会 講師	2020 年 10 月		

著者・氏名	区分	著書，学術論文，作品等の名称	掲載誌，発行所，学会，講演会，展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁，分担・担当等
森 き よ み	運営	会長	日本接着学会 構造接着研究会	2021 年 5 月		
森 き よ み	運営	講師	日本接着学会 接着技術者養成講座	2021年10月		
森 き よ み	運営	主査	日本実験力学会 多分野交流分科会	2005 年 12 月 ～2021年6月		
森 き よ み	運営	タービンの遮熱コーティングの予防保全を実現する健全性試験方法に関する国際標準化 産学官連携委員会 委員	経済産業省委託 令和2年度省エネルギー等に関する国際標準の獲得・普及促進事業	2020 年 4 月		
森 き よ み	運営	運営委員	日本接着学会 2021 年度 年次講演会	2020 年 7 月		
森 き よ み	運営	理事	日本接着学会	2018年6月～		
西 川 佳 男	学術論文	前腕の表面筋電位から動作を誤推定しないための識別システムの構築(義手などの機器操作のためのシステム研究)	日本ヒューマンケア・ネットワーク学会誌 Vol.18, No.1	2020 年 9 月	共著	82-89
西 川 佳 男	学術論文	電極貼り直しに対してロバストな表面筋電位による動作識別システムの研究	拓殖大学理工学研究報告 Vol.18	2021 年 3 月	共著	21-26
西 川 佳 男	学術論文	Decision-Making of Communication Robots Through Robot Ethics	Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics Vol.25, No.4	2021 年 7 月	共著	467-477

電子システム工学科

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
小 川 毅 彦	学術論文	Facial Expression Recognition for Hugging Type Vital Sign Measuring System	Proc. of The 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI) in Las Vegas (remote presentation)	2020年12月	共著	Paper ID: CSCI2047
小 川 毅 彦	学術論文	Development of Hugging Type System for Measuring Vital Signs	Proc. of SICE2021	2021 年 9 月	共著	
長 谷 川 淳	学術論文	Facial Expression Recognition for Hugging Type Vital Sign Measuring System	Proc. of The 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI) in Las Vegas (remote presentation)	2020年12月	共著	Paper ID: CSCI2047
林 誠 治	学術論文	顔認識および音声認識を搭載した多機能型ソーシャルロボットの製作	拓殖大学 理工学研究報告 Vol.18	2021 年 3 月	単著	3-10
林 誠 治	学術論文	Touchless Information Provision and Facial Expression Training using Kinect	Proc. of 23rd HCI International Conference (HCII 2021), Volume 38, CCIS 1420, ISBN: 978-3-030-78641-0, Springer	2021 年 7 月	共著	90-97
林 誠 治	口頭	歩行リハビリ応援ロボットの動作検討	日本デザイン学会 第67回春季研究発表大会	2020 年 6 月	共著	H-08
林 誠 治	口頭	ジェスチャーを用いたスカラーロボットの制御に関する研究	第12回大学コンソーシアム八王子学生発表会	2020年12月	共著	Q214
林 誠 治	運営	講師	産業用ロボットの教示・検査等業務の特別教育講習会	2016年11月～		
林 誠 治	その他	日常生活における行動の自動識別に関する一考察	第13回大学コンソーシアム八王子学生発表会	2021年12月	共著	Q117
林 誠 治	その他	顔認識および顔追跡を搭載した小型ロボットの制御に関する研究	第13回大学コンソーシアム八王子学生発表会	2021年12月	共著	Q118
前 山 利 幸	学術論文	Electromagnetic Wave Pattern Detection using Cepstral Features in the Manufacturing Field	IEICE Communication Express	2020年10月	共著	Vol.1, 1-6
前 山 利 幸	招待	依頼講演 電磁解析・シミュレーション技術とEMC	KEC 関西電子工業振興センター	2020年11月	単著	
前 山 利 幸	口頭	FDTD法を用いた屋内伝搬解析の一検討	電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会	2020年11月	共著	信学技報, vol.120, no.248, AP2020-93, pp.107-111, 2020 年 11 月.
前 山 利 幸	口頭	細線同軸コネクタの電磁界解析	電子情報通信学会 ソサエティ大会	2020 年 9 月	共著	C-6-6
前 山 利 幸	口頭	コンクリート製天井近傍における伝搬特性の検討	電子情報通信学会 ソサエティ大会	2020 年 9 月	共著	B-1-8
前 山 利 幸	口頭	自律的周波数共用のためのセンシングに関する一検討	電子情報通信学会 ソサエティ大会	2020 年 9 月	共著	B-17-16
前 山 利 幸	運営	客員研究員	国際電気通信基礎技術研究所	2014年4月～		
前 山 利 幸	運営	委員	情報通信研究機構 電波ばく露レベルモニタリングに関する技術情報委員会	2019年4月～		
前 山 利 幸	運営	座長	大学コンソーシアム八王子 産学連携部会	2019年4月～		
前 山 利 幸	運営	総務省基地局等評価方法作業部会	総務省基地局等評価方法作業部会	2019年4月～		
前 山 利 幸	運営	メンター	国際電気通信技術研究所 電波COEプログラム	2019年4月～		
渡 邊 修	学術論文	Parameterization of the quality factor for the high throughput JPEG 2000	Optics, Photonics and Digital Technologies for Imaging Applications V	2020 年 4 月	共著	Volume 11353, pp.177-186.

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
渡 邊 修	学術論文	Development of Open-Source Codec Compliant with HTJ2K Standard	IEEE GCCE 2021	2021年10月	共著	The High Throughput JPEG 2000 (HTJ2K) is Part 15 of the JPEG 2000 family of standards, and it is published as ITU-T T.814 ISO/IEC 15444-15. HTJ2K brings significant improvement of coding throughput to image compression pipelines with JPEG 2000 technolog
渡 邊 修	受賞	標準化貢献賞	情報規格調査会	2020年5月		
渡 邊 修	解説	HTJ2K (High Throuput JPEG 2000) の概要	画像電子学会誌 Vol.50, No.2	2021年4月	単著	287 - 292
渡 邊 修	解説	JPEG 標準化動向 -JPEG AIを中心に-	画像電子学会 第49回年次大会	2021年6月	単著	
渡 邊 修	解説	JPEG XL 概説	画像電子学会 第49回年次大会	2021年6月	単著	
渡 邊 修	口頭	JPEG 標準化最新動向 -JPEG AI, Fake media, DNA storage-	2020年度 画像電子学会年次大会	2020年12月	単著	
渡 邊 修	口頭	HTJ2Kの採用動向と潜在的アプリケーション	2020年度 画像電子学会年次大会	2020年12月	単著	
渡 邊 修	運営	主査	情報規格調査会 JPEG 小委員会	2020年7月		
渡 邊 修	運営	Committee Member	IEEE IEEE Consumer Technology Society, Audio/Video Systems and Signal Processing (AVS) Technical Stream	2020年8月		
渡 邊 修	運営	co-chair	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 ICQ Subgroup	2020年10月		
渡 邊 修	運営	主査	ISO/IEC SC29/WG1 (JPEG) 国内小委員会	2020年10月		
渡 邊 修	運営	幹事	電子情報通信学会 信号処理研究会	2021年6月		
渡 邊 修	運営	幹事	電子情報通信学会 信号処理研究会	2017年6月～		
渡 邊 修	運営	project editor	ISO/IEC 15444-15 High Throughput JPEG 2000 (JPEG 2000 Part 15)	2018年4月～		
渡 邊 修	運営	co-editor	ISO/IEC 15444-1:2016 AMD 1 (JPEG 2000 Part 1 AMD 1)	2018年4月～		
渡 邊 修	運営	project editor	ISO/IEC 15444-1 JPEG 2000 Part 1 4th Edition	2018年7月～		
渡 邊 修	運営	専門委員	電子情報通信学会 信号処理研究会	2019年6月～2021年6月		
渡 邊 修	運営	project editor	ISO/IEC 15444-5 JPEG 2000 Part 5 3rd Edition	2020年4月～		
渡 辺 裕 二	運営	委員	日本塑性加工学会 超音波応用加工分科会	2004年～		
渡 辺 裕 二	運営	委員	(社) 全国工業高等学校長協会、ジュニアマイスター顕彰認定委員会	2008年4月～		
吉 森 茂	運営	委員	電子情報通信学会 超伝導エレクトロニクス研究会	2000年5月～		
何 宜 欣	学術論文	Reproduce Reading Experience through Smartphone with Argumented Reality Technology	13th International Conference on Human System Interaction (HSI 2020)	2020年6月	共著	pp.261-265
何 宜 欣	学術論文	Application for Extending and Deepen Reading Contents of Books using Hand Gesture	The International Workshop on Intelligent systems (IWIS 2020)	2020年12月	共著	pp.114-118

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
何 宜 欣	学術論文	Facial Expression Recognition for Hugging Type Vital Sign Measuring System	Proc. of The 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI) in Las Vegas (remote presentation)	2020年12月	共著	Paper ID: CSCI2047
何 宜 欣	運営	委員	すべての人々が安心快適に使用できる支援技術の実現化調査専門委員会（一般社団法人電気学会）	2013年4月～		
何 宜 欣	運営	Web Admin	IEEE Tokyo Young Professionals	2015年4月～		
何 宜 欣	運営	研究員	東京都立大学（元:首都大学東京）コミュニティ・セントリック・システム研究センター	2015年4月～		
何 宜 欣	運営	海外リエゾン	2020 年度人工知能学会全国大会（第 34 回）	2020 年		
何 宜 欣	運営	Publicity Chair	13th International Conference on Human System Interaction HSI 2020	2020 年		
何 宜 欣	運営	Special Session Chair	The 25th International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence	2020 年		
何 宜 欣	運営	海外リエゾン	2021 年度人工知能学会全国大会（第 35 回）	2021 年		
常 光 康 弘	学術論文	THE WAVEGUIDE SLOT ARRAY ANTENNA IN MILLIMETER WAVEBAND USING THE REFLECTION CANCELING STAIRS FOR THE SIDELOBE SUPPRESSION	2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting	2020 年 7 月	共著	WE-A1.6A: Slotted Antennas and Applications, Oral Session, Montreal, Quebec, Canada
常 光 康 弘	学術論文	The Analysis of the Octave-Band Self-Complementary Antenna	2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2020), The Institute of Electronics Information and Communication Engineers (IEICE) of Japan	2021 年 1 月	共著	4B3: Short Presentation Session A4
常 光 康 弘	学術論文	Slotted waveguide antenna with inclined stairs for effective side lobes suppression at 38 GHz	2021 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), European Association on Antennas and Propagation(EurAAP), Dusseldorf, Germany.	2021 年 3 月	共著	EuCAP 2021 ONLINE p.92
常 光 康 弘	口頭	切り抜き同軸給電によるオクターブバンド自己補対アンテナの解析	電子情報通信学会 2020 年 ソサイエティ大会	2020 年 9 月	共著	B-1-44
常 光 康 弘	口頭	広壁面階段構造平面導波管スロットアレーアンテナにおける $\phi=45^\circ$ 面内放射指向性のグレーティングローブ抑圧	2021 年電子情報通信学会総合大会，開催地: オンライン開催	2021 年 3 月	共著	B-1-91
常 光 康 弘	口頭	ラジアルラインスロットアンテナにおける同心円状配列 T の字型スロットペア	2021 年電子情報通信学会総合大会，開催地: オンライン開催	2021 年 3 月	共著	B-1-90
常 光 康 弘	口頭	GPS 信号がない場合の搜索救助用無人航空機に搭載されたミリ波帯アンテナに対するプロペラ回転の影響	2021 年電子情報通信学会総合大会，開催地: オンライン開催	2021 年 3 月	共著	B-1-68
常 光 康 弘	審査	査読者	ISAP 2020 電子情報通信学会	2020年10月～2020年11月		

情報工学科

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
佐々木 整	運営	Conference Chair	2021 The 5th International Conference on E-Society, E-Education and E-Technology	2020年12月		
佐々木 整	運営	監事	教育システム情報学会	2021年6月		
佐々木 整	運営	研究会委員会委員	教育システム情報学会	2003年～		
佐々木 整	運営	一般情報教育委員会委員	情報処理学会	2009年～		
佐々木 整	運営	Reviewer	NETs 2019	2018年12月～		
佐々木 整	運営	主査	厚生労働省 若年者ものづくり競技大会「業務用ITソフトウェア・ソリューションズ」職種 競技委員会	2018年4月～		
佐々木 整	運営	委員	技能五輪国際大会職種別分科会	2018年9月～		
佐々木 整	運営	Conference Chair	2020 The 4th International Conference on E-Society, E-Education and E-Technology	2020年3月～ 2020年8月		
佐々木 整	運営	Technical Committee	2020 The 4th International Conference on E-Society, E-Education and E-Technology	2020年3月～ 2020年8月		
佐々木 整	運営	主査	第46回技能五輪国際大会「業務用ITソフトウェア・ソリューションズ」職種 日本代表選手選考会 競技委員会	2020年8月～ 2021年3月		
佐々木 整	運営	会長	技能五輪職種別分科会業務用ITソフトウェア・ソリューションズ職種	2021年1月～		
高橋 丈博	学術論文	ドリップ・ファーターゲイションによる窒素肥料の違いがスイートコーンの収量に及ぼす影響	農作業研究, Vol.55, No.4	2020年12月	共著	221～230
高橋 丈博	運営	委員	IEC SC77B国内委員会	2017年9月～		
西田 誠幸	運営	委員	国分寺市情報公開・個人情報保護審議会	2018年4月～		
西田 誠幸	その他	プログラミング初学者を支援するソースコードと実行結果を対応付けた可視化手法の提案と評価	2021-CE-158(3), pp.1-5	2021年2月	共著	
早川 栄一	討論	Archery Form Guidance System Using Acceleration Sensors and Foot Pressure Sensors	HCI International 2020 – Posters	2020年8月	共著	DOI 978-3-030-50729-9_28,@2020
早川 栄一	討論	Flow-Based ROS2 Programming Environment for Control Drone	HCI International 2020 – Posters	2020年8月	共著	DOI 978-3-030-50732-9_58,@2020
水野 一徳	著書	IT Text 一般情報教育	オーム社	2020年9月	共著	10章
水野 一徳	学術論文	Escher-like Tiling Design from Video Images Using Convolutional Variational Autoencoder	Journal of Information Science and Engineering, Vol.37, No.3	2021年5月	共著	pp.575-592
水野 一徳	学術論文	ELTHON: An Escher-like Tile design method using Hierarchical Optimization	Applied Soft Computing, Vol.112, Elsevier	2021年11月	共著	107771
水野 一徳	受賞	Merit Paper Award	The 26th Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2021)	2021年11月		
水野 一徳	討論	Adaptive Ant Colony Optimization with Several Pheromone Updates for Constraint Satisfaction Problems	The 26th International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2021)	2021年11月	共著	19-24

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
水 野 一 徳	口頭	群知能による制約充足アルゴリズムにおける動的パラメータ調整	人工知能学会第34回全国大会	2020年6月	共著	
水 野 一 徳	口頭	群知能による動的パラメータ調整を用いた蟻コロニー最適化による制約充足問題の解法	進化計算シンポジウム2020	2020年12月	共著	pp.270-275
水 野 一 徳	口頭	対話型遺伝的アルゴリズムを用いたデフォルメキャラクター制作システムの試作	進化計算学会第19回研究会	2021年3月	共著	pp.84-86
水 野 一 徳	口頭	フェロモン蓄積を動的に変更する蟻の集団による制約充足アルゴリズム	人工知能学会第35回全国大会	2021年6月	共著	2E1-OS-13a
水 野 一 徳	運営	競技委員	第15回若年者ものづくり競技大会(第46回技能五輪国際大会「業務用ITソフトウェア・ソリューション」職種日本代表選考会)(中央職業能力開発協会)	2020年4月		
水 野 一 徳	運営	Program Committee Member	The 26th International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2021)	2021年8月		
水 野 一 徳	運営	Program Committee Member	The 25th International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2020)	2020年4月～2021年3月		
水 野 一 徳	運営	委員	技能五輪国際大会選手強化委員会 職種別分科会(業務用ITソフトウェア・ソリューションズ) 委員	2021年4月～		
水 野 一 徳	運営	競技委員	第16回若年者ものづくり競技大会	2021年4月～		
蓑 原 隆	学術論文	Effects of Different Levels of Nitrogen Fertilizer Application Through Drip Fertigation on Sweet Corn Yield in Japan	農作業研究 Vol.55 No.4	2020年12月	共著	221-229
蓑 原 隆	運営	ディペンダブルコンピューティング研究専門委員会委員	電子情報通信学会	2012年5月～		
寺 岡 丈 博	学術論文	Possibility of Using High-Quality Bow Interface in VAIR Field	Design, User Experience, and Usability. Design for Contemporary Interactive Environments, Springer	2020年7月	共著	605-619
寺 岡 丈 博	学術論文	Automatic Generation of News Contents from Blog Posts	International Journal of Asia Digital Art & Design, Vol.25, No.1	2021年2月	共著	1-7
寺 岡 丈 博	受賞	Best Paper Award	The 25th International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2020)	2020年12月		
寺 岡 丈 博	展望または論説	比喩理解に関する自然言語処理研究の紹介	認知科学, Vol.27, No.2	2020年6月	単著	227-232
寺 岡 丈 博	討論	Construction of Associative Vocabulary Learning System for Japanese Learners	Proceedings of the 34th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation (PACLIC 34)	2020年10月	共著	294-301
寺 岡 丈 博	討論	Deep Case Estimation and Japanese Anaphora Resolution with a Verb-Associative Concept Dictionary	The 25th International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2020)	2020年12月	共著	79-84
寺 岡 丈 博	討論	Disambiguation of Japanese Idiomatic Expressions Using Bias in Occurrence of Verbs	The 25th International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2020)	2020年12月	共著	114-118
寺 岡 丈 博	運営	編集委員会企画幹事(再任)	映像情報メディア学会 編集委員会	2020年6月		
寺 岡 丈 博	運営	企画幹事	映像情報メディア学会 編集委員会	2020年6月		

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
寺 岡 丈 博	運営	プログラム委員	言語処理学会 第28回年次大会 プログラム委員	2021年8月		
寺 岡 丈 博	運営	編集委員会企画幹事	映像情報メディア学会	2018年6月～ 2020年5月		
寺 岡 丈 博	運営	プログラム委員	人工知能学会 第34回全国大会	2019年10月 ～2020年7月		
寺 岡 丈 博	運営	委員	12th edition of the Language Resources and Evaluation Conference (LREC2020)	2019年11月 ～2020年5月		
島 川 昌 也	学術論文	Efficient Realizability Checking by Modularization of LTL Specifications	The Computer Journal	2021年9月	共著	Paper ID: bxab 116 (全14ページ)
島 川 昌 也	討論	Towards Interpretation of Abstract Instructions Using Declarative Constraints in Temporal Logic	International Conference on Software and Computer Applications	2020年4月	共著	17-20
島 川 昌 也	討論	Towards Interpretation of Abstract Instructions Using Declarative Constraints in Temporal Logic	International Conference on Software and Computer Applications	2020年	共著	
島 川 昌 也	その他	member	ワークショップWCTP PC	2016年～		
澄 川 靖 信	学術論文	A Dataset for Connecting Similar Past and Present Causalities	Data in Brief	2020年4月	共著	Vol.29, pp. 105185
澄 川 靖 信	学術論文	Comparative Institutional Analysis of Participation in Collaborative Learning	Cogent Education, Taylor & Francis	2020年6月	共著	Vol.7, No.1, pp.1779556
澄 川 靖 信	学術論文	MaxMin Clustering for Historical Analogy	SN Applied Sciences, Springer Nature	2020年7月	共著	Vol.2, pp.1441
澄 川 靖 信	学術論文	Analyzing History-related Posts in Twitter	International Journal on Digital Libraries	2020年10月	共著	Vol.22, pp.105-134
澄 川 靖 信	学術論文	Multilabel Graph-based Classification for Missing Labels	International Journal on Digital Libraries	2020年10月	共著	Vol.22, pp.85-104
澄 川 靖 信	学術論文	デジタルヒストリーとの対話を促す Twitterチャットボット	電子情報通信学会論文誌	2021年5月	共著	Vol.J104-D, No.05, pp.486-497
澄 川 靖 信	学術論文	Annotated Dataset of History-related Tweets	Data in Brief	2021年9月	共著	Vol.38, pp.107344
澄 川 靖 信	受賞	優秀論文賞	第12回データ工学と情報マネジメ ントに関するフォーラム	2020年5月		
澄 川 靖 信	討論	Proceedings of the 6th International Workshop on Computational History (HistoInformatics 2021) co-located with ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries 2021 (JCDL 2021), Online event, September 30-October 1, 2021.	CEUR Workshop Proceedings	2021年10月	共著	
澄 川 靖 信	討論	Event Causal Relationship Retrieval	The 20th IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology	2021年12月	単著	accepted
澄 川 靖 信	運営	プログラム委員	ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries	2020年1月～ 2020年7月		
澄 川 靖 信	運営	プログラム委員	日本ソフトウェア科学会 プログラミ ングおよびプログラミング言語ワー クショップ プログラム	2020年8月～ 2021年3月		

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・ 発表年月	単著 ・共著	刊号頁, 分担・担当等
澄 川 靖 信	運営	プログラム委員	ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries プログラム委員	2021 年 12 月 ～2022年6月		
澄 川 靖 信	運営	プログラム委員	ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries プログラム委員	2021年1月～ 2021年9月		
澄 川 靖 信	運営	プログラム委員	International Conference on Asia-Pacific Digital Libraries プログラム委員	2021年5月～ 2021年12月		
澄 川 靖 信	運営	プログラム委員	日本ソフトウェア科学会 プログラミ ングおよびプログラミング言語ワー クショップ プログラム委員	2021年8月～ 2022年3月		

デザイン学科

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
阿 部 眞 理	口頭	軽量ラミネーテッドウッドの作製と性質把握	日本デザイン学会第67回春季研究発表大会概要集	2020年6月	共著	A-04
阿 部 眞 理	口頭	タケ材と布材を用いたやわらかい家具	日本デザイン学会第67回春季研究発表大会概要集	2020年6月	共著	A-02
阿 部 眞 理	口頭	家具用樹脂シート材料および自然材料による生地の性質比較	日本デザイン学会第67回春季研究発表大会概要集	2020年6月	共著	A-03
阿 部 眞 理	口頭	シート状自然材料による収納家具および壁面パネルの提案	第68回 JSSD 日本デザイン学会春季研究発表大会	2021年6月	共著	342-343
阿 部 眞 理	口頭	タケを主材としたシェルフ型家具の転倒による衝撃比較	第68回 JSSD 日本デザイン学会春季研究発表大会	2021年6月	共著	340-341
阿 部 眞 理	口頭	家具転倒時の身体的衝撃を軽減する針葉樹混合積層材の開発	第68回 JSSD 日本デザイン学会春季研究発表大会	2021年6月	共著	296-297
大 島 直 樹	学術論文	Facial Expression Recognition for Hugging Type Vital Sign Measuring System	The 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence	2020年12月	共著	
大 島 直 樹	運営	広報委員長	NICOGRAPH INTERNATIONAL 2020, 広報委員長	2020年6月		
大 島 直 樹	運営	広報委員長	NICOGRAPH INTERNATIONAL 2020	2020年6月		
大 島 直 樹	運営	委員	財団法人 画像情報教育振興協会 (CG-ARTS 協会) 協会	2004年4月～		
大 島 直 樹	運営	特任理事	アジアネットワーク ビヨンドデザイン日本協会	2016年4月～		
大 島 直 樹	運営	理事	日本デザイン学会	2018年5月～		
大 島 直 樹	作品	TYPHOON_Wind of Asia	ANBD2020 チェジュ特別展	2020年4月		
大 島 直 樹	作品	NAGO-YAKA : peaceful	ANBD2020 台北展	2020年10月	共著	
大 島 直 樹	作品	HANA-YAKA : gorgeous	ANBD2020 ソウル展	2020年10月	共著	
大 島 直 樹	作品	NIGI-YAKA : lively	ANBD2020 バンコク展	2020年12月	共著	
大 島 直 樹	作品	KARO-YAKA : light	ANBD2020 上海展	2020年12月	共著	
岡 崎 章	学術論文	痛みのイメージを視覚化するデジタル痛み評価ツールの有効性の検討	日本感性工学会論文誌, 19(4)	2020年12月		405-411
岡 崎 章	運営	審査委員	キッズデザイン賞	2017年～		
岡 崎 章	その他	【特許】: バイタルサイン測定ロボット	特許第 6783000 号	2020年11月		
岡 崎 章	その他	【特許】: 感性情報を用いたりハビリティーション支援ロボット	【公開番号】 特開 2021-28108 (P2021-28108A)	2021年2月		
工 藤 芳 彰	運営	展示サポート	由井市民センターみなみ野分館「ふるさと資料室」	2010年4月～		
工 藤 芳 彰	運営	会長	八王子市立高尾山学園学校運営協議会	2016年9月～		
工 藤 芳 彰	運営	理事 (第2支部 副支部長)	日本デザイン学会	2018年6月～2020年6月		
工 藤 芳 彰	運営	委員	旭町・明神町地区周辺まちづくりの検討に係る懇談会	2020年10月～2022年3月		
工 藤 芳 彰	運営	特設理事 (企画委員会 副委員長)	日本デザイン学会	2020年6月～2022年6月		
白 石 照 美	口頭	タケ材と布材を用いたやわらかい家具	日本デザイン学会 第67回春季研究発表大会概要集	2020年8月	共著	A-02
白 石 照 美	口頭	家具用樹脂シート材料および自然材料による生地の性質比較	日本デザイン学会 第67回春季研究発表大会概要集	2020年8月	共著	A-03

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
白 石 照 美	口頭	軽量ラミネーテッドウッドの作製と性質把握	日本デザイン学会 第67回春季研究発表大会概要集	2020年8月	共著	A-04
白 石 照 美	口頭	シート状自然材料による収納家具および壁面パネルの提案	第68回 JSSD 日本デザイン学会 春季研究発表大会	2021年6月	共著	342-343
白 石 照 美	口頭	タケを主材としたシェルフ型家具の転倒による衝撃比較	第68回 JSSD 日本デザイン学会 春季研究発表大会	2021年6月	共著	340-341
白 石 照 美	口頭	家具転倒時の身体的衝撃を軽減する針葉樹混合積層材の開発	第68回 JSSD 日本デザイン学会 春季研究発表大会	2021年6月	共著	296-297
アルバレス・ハイメ	学術論文	Development of a robot for emotional support of children during walking rehabilitation.	International conference on 'Designing for children' with focus on 'Play and Learn'	2021年1月	共著	ChildA 1900190
アルバレス・ハイメ	学術論文	Design of traffic control equipment with improved responsiveness to prevent accidents in flooded underpass	Proceedings of the International Conference on Design Principles and Practices	2021年3月	共著	G21P228
アルバレス・ハイメ	学術論文	Design of Form and Motion of a Robot Aimed to Provide Emotional Support for Pediatric Walking Rehabilitation	Proceedings (Part II) of the 10th International Conference on Design, User Experience, and Usability, DUXU 2021	2021年7月	共著	pp.403-419
アルバレス・ハイメ	討論	A new approach to Universal Design for architectural spaces	AMPS International Conference Rapid Cities - Responsive Architectures (online)	2020年11月	単著	AMPS Session 6
アルバレス・ハイメ	運営	全国理事	日本デザイン学会の全国理事 (論文審査委員会)	2020年4月		
アルバレス・ハイメ	運営	全国理事	日本デザイン学会	2020年4月		
アルバレス・ハイメ	運営	審査員	QS World University Rankings (Art and Design)	2018年1月～		
アルバレス・ハイメ	運営	審査員	QS World University Rankings (Art and Design)	2018年1月～		
アルバレス・ハイメ	その他	【特許】:感性情報を用いたりハビリテーション支援ロボット	【公開番号】 特開 2021-28108 (P2021-28108A)	2021年2月		
小 出 昌 二	運営	理事	日本基礎造形学会 令和元年・2年度理事会 理事	2019年4月～2021年3月		
小 出 昌 二	運営	専門家評価員	一般社団法人ユニバーサル コミュニケーション デザイン 協会主催 UCDA AWARD 2020	2020年8月～2021年1月		
小 出 昌 二	審査	査読委員	日本基礎造形学会論文集・作品集 2020 基礎造形 029	2020年4月～2021年3月		
小 出 昌 二	作品	第70回モダンアート展 デザイン部門 WHITE COCOON ACT4	モダンアート協会主催 京都市立美術館、福岡市美術館	2020年7月	単著	
小 出 昌 二	作品	片山秀斗スキースクール ロゴデザイン	日本基礎造形学会 第31回岐阜大会	2020年9月	単著	
小 出 昌 二	作品	東京ミッドタウン・デザインハブ第90回企画展 「JAGDAつながりの展覧会 パラチャリティ」	公益社団法人日本グラフィックデザイナー協会企画・運営 東京ミッドタウン・デザインハブ	2021年1月	単著	
永 見 豊	学術論文	ドライブシミュレータを用いた高速道路サグ部における路面標示対策による速度回復評価	交通工学論文集 第6巻, 第4号	2020年4月	共著	A1-A5
永 見 豊	口頭	トラフィックカウンタデータを用いた交通流イメージ動画の制作と類型化	交通工学研究発表会論文集 40	2020年8月	共著	191-194
永 見 豊	口頭	高速道路インターチェンジ出口部の誤進入対策におけるCG動画を用いた気づきやすさの評価	交通工学研究発表会論文集 40	2020年8月	共著	443-446
永 見 豊	口頭	信号なし横断歩道においてドライバに一時停止を促す立体路面標示	日本デザイン学会研究発表大会概要集 67巻	2020年8月	共著	212-213

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
永 見 豊	運営	まちづくり専門家	財団法人東京都新都市づくり公社	2009年6月～		
永 見 豊	運営	委員	八王子市入札契約制度検討会	2019年4月～		
永 見 豊	運営	委員	首都圏における道路情報提供のあり方に関する検討会	2020年3月～2022年3月		
崔 烘 碩	学術論文	Suggested structure of easy-to-read caption tape design for video beginners	International Conference for Asia Digital Art and Design 2020	2020年12月	共著	オンライン開催
崔 烘 碩	学術論文	A Measurement System for Deformation and Torsion Angle in Plastic Ankle Foot Orthoses	Advanced Experimental Mechanics	2021年5月	共著	Vol.6 (2021), 53-58
崔 烘 碩	口頭	ロービジョン患者ケアを行う看護師を対象としたバーチャルリアリティ教材開発のための文献検討	第1回日本看護シミュレーションラーニング学会学術集会	2020年6月	共著	オンライン開催
崔 烘 碩	口頭	入院患児のためのVRを用いたストレスコーピングツールの提案	日本デザイン学会 第68回研究発表大会	2021年6月	共著	オンライン開催
森 岡 大 輔	学術論文	A Measurement System for Deformation and Torsion Angle in Plastic Ankle Foot Orthoses	"Advanced Experimental Mechanics", Vol.6	2021年8月	共著	p.53-58
森 岡 大 輔	口頭	階段用手すり形状と握りやすさに関する研究	日本デザイン学会 2020年度春季研究発表大会	2020年8月	共著	X-03
森 岡 大 輔	口頭	タケ材と布材を用いたやわらかい家具	日本デザイン学会 2020年度春季研究発表大会	2020年8月	共著	A-02
森 岡 大 輔	口頭	家具用樹脂シート材料および自然材料による生地の性質比較	日本デザイン学会 2020年度春季研究発表大会	2020年8月	共著	A-03
森 岡 大 輔	口頭	軽量ラミネーテッドウッドの作製と性質把握	日本デザイン学会 2020年度春季研究発表大会	2020年8月	共著	A-04
森 岡 大 輔	口頭	T字型杖の形状と持ちやすさに関する機能分析	日本機械学会 2020年度年次大会講演論文集	2020年9月	共著	J10310
森 岡 大 輔	口頭	持ちやすいスプーンの形状に関する研究	第68回 JSSD 日本デザイン学会 春季研究発表大会	2021年6月	共著	
森 岡 大 輔	口頭	シート状自然材料による収納家具および壁面パネルの提案	第68回 JSSD 日本デザイン学会 春季研究発表大会	2021年6月	共著	342-343
森 岡 大 輔	口頭	タケを主材としたシェルフ型家具の転倒による衝撃比較	第68回 JSSD 日本デザイン学会 春季研究発表大会	2021年6月	共著	340-341
森 岡 大 輔	口頭	家具転倒時の身体的衝撃を軽減する針葉樹混合積層材の開発	第68回 JSSD 日本デザイン学会 春季研究発表大会	2021年6月	共著	296-297
森 岡 大 輔	口頭	表面筋電を用いた階段用手すりの形状と握りやすさの分析	日本実験力学会 2021年度年次講演会	2021年8月	共著	C207
森 岡 大 輔	口頭	杖グリップ形状の違いによる握りやすさと上肢筋電の関係分析	日本機械学会 2021年度 年次大会	2021年9月	共著	J151-04

基礎教育系列

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
青 木 茂	運営	世話人	工学系数学基礎教育研究会	2020年4月～	共著	51-52
織 田 寛	口頭	Hypergeometric Fourier transform associated with a root system of type BC (with T.Honda and N.Shimeno)	日本数学会 2020 年度秋季総合分科会函数解析学分科会講演アブストラクト	2020 年 9 月		
織 田 寛	運営	世話人	2020 年度表現論シンポジウム	2020年11月		
織 田 寛	運営	座長	2021 年度表現論シンポジウム	2021年11月		
織 田 寛	運営	世話人	表現論シンポジウム 世話人	2020 年～ 2020 年 12 月		
織 田 寛	運営	評議員	日本数学会函数解析学分科会評議員	2021年3月～ 2023年2月		
鈴 木 康 夫	学術論文	遠隔授業の実践と工夫	『大学の物理教育』 26-3, 日本物理学会	2020年11月	単著	
鈴 木 康 夫	運営	委員および講師	JABEE 研修部会	2014年6月～	共著	
鈴 木 康 夫	運営	委員	JABEE 審査員研修部会	2014年6月～		
鈴 木 康 夫	運営	委員	日本物理学会物理教育委員	2016年4月～		
鈴 木 康 夫	運営	理事	日本物理教育学会	2018年6月～ 2020年8月		
鈴 木 康 夫	審査	委員	JABEE 審査調整委員会	2006年5月～		
鈴 木 康 夫	運営・審査	編集委員	日本物理学会『大学の物理教育』編集委員会	2002年9月～		
鈴 木 康 夫	運営・審査	委員	日本物理学会分野別 JABEE 委員会	2013年6月～		
鈴 木 康 夫	運営・審査	委員	日本物理教育学会会誌編集委員会	2016年4月～ 2020年9月		
関 野 恭 弘	学術論文	Rotating strings and particles in AdS: Holography at weak gauge coupling and without conformal symmetry	arXiv: 2109.12091 [hep-th]	2021 年 9 月		
関 野 恭 弘	招待	Rotating strings and particles in AdS: Holography at weak gauge coupling and without conformal symmetry	京都大学基礎物理学研究所 セミナー	2021 年 10 月	単著	
関 野 恭 弘	口頭	Rotating strings and particles in AdS: Holography at weak gauge coupling and without conformal symmetry	KIAS-YITP 2021 String Theory and Quantum Gravity	2021 年 12 月	単著	
関 野 恭 弘	口頭	Rotating strings and particles in AdS: Holography at weak gauge coupling and without conformal symmetry	高エネルギー加速器研究機構 KEK theory workshop 2021	2021 年 12 月	単著	
関 野 恭 弘	運営	座長	国際会議「Strings and Fields 2021」	2021 年 8 月	共著	752-771
関 野 恭 弘	運営	世話人	国際会議「IFQ-ExU joint mini workshop: Extreme Universe from Qubits」	2021 年 12 月		
関 野 恭 弘	審査	論文査読	SIGMA (Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications)	2020 年 7 月		
関 野 恭 弘	審査	論文査読	Journal of Mathematical Physics	2020 年 10 月		
関 野 恭 弘	運営・審査	編集委員	Journal of the Physical Society of Japan	2015 年 4 月～		
川 本 敦 史	学術論文	Global Lipschitz stability for a fractional inverse transport problem by Carleman estimates	Applicable Analysis 100	2021 年 3 月		

著者・氏名	区分	著書，学術論文，作品等の名称	掲載誌，発行所，学会，講演会，展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁，分担・担当等
川 本 敦 史	運営	世話人	若手研究集会「波動・振動・流れの制御と逆問題—理論と数値計算—」	2021 年 9 月		

その他

著者・氏名	区分	著書，学術論文，作品等の名称	掲載誌，発行所，学会，講演会，展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁，分担・担当等

理工学総合研究所

運 営 委 員

○香川 美仁

森 きよみ

三堀 邦彦

澄川 靖信

アルバレス・ハイメ

織田 寛

関野 恭弘

表紙デザイン

石田 光男

鳥井 貴彦

拓殖大学理工学研究報告

第 19 卷

2022 年（令和 4 年）3 月 22 日 印刷

2022 年（令和 4 年）3 月 31 日 発行

兼発行人 香川 美仁

発 行 所 拓殖大学理工学総合研究所

東京都文京区小日向 3-4-14

電話 03-3947-7595

（学務部研究支援課）

印 刷 所 株式会社外為印刷

CONTENTS

FULL PAPERS

- Stress waves to propagate a bar with thin part
..... *Koichiro Kihara, Mao Wakaumi, Keisuke Watanabe, Shun Yoshida* 3

- On the continuity of free energy during black hole formation
..... *Yasuhiro Sekino, Yasuo Y. Suzuki* 9

SHORT NOTES

- User interface proposal for the visually weak person in apps
..... *Hong-Seok Choi, Daisuke Morioka* 19

REVIEWS

- Comparative study on the impact of overturned furniture due to differences
in material and structure..... *Terumi Shiraishi, Mari Abe, Daisuke Morioka,
Kazuma Eendo, Yasutoshi Okubo* 27

ABSTRACTS

- Effects of urea application on rice growth in a cold area
..... *Kanako Okada, Yuki Sato, Akira Kawai, Kenichi Kakuda* 35

- RESEARCHERS & TITLES 39

- ACADEMIC REPORTS
& SOCIAL ACTIVITIES 47