

屋根葺材用植物資材オギススキの力学・含水・ATP 変化量特性を踏まえた建材性能の評価

DB21138 相良心大

1. はじめに

維持管理をする後継者不足や良質な材料の不足に悩まされている茅葺屋根の対策として、全研究は生育環境や環境貢献性の現地調査、建築材料の観点における試験として散水試験から水分保持性の調査を行った。野原論文は、「現地調査から、刈り取り寸法は長く、セルロース値から CO_2 固定量は人工林と比較して非常に CO_2 吸収率が高い。散水試験から、オギススキは少量の落水が持続することや含水率の高さからな水分保持性があると判明している。」²⁾ また、安藤氏は、「高温多湿な気候の日本において、屋根は最も傷みやすい部分である。茅葺屋根の葺き替えは、傷んだ部分とその他の部分を分けてそだけ短い周期で行うのが一般的であり、屋根をいくつか分割して葺き替える方法が一般的であると述べている。」¹⁾ そのため、葺き替え作業時には屋根を踏みながら作業をするため強度が必要になる。

今研究では、オギススキを実際に建材として利用した時の視点を用いて評価を茅葺屋根の長期耐用化や建材利用評価を目的に行う。研究 1, 2 は断面性能や曲げ強度をヨシと比較し、葺き替え作業時の劣化の耐性を力学的に検討する。研究 3, 4 は実際にオギススキの屋根の建物を利用するという視点も踏まえて、雨が降った時の屋内外の影響の違いの考察やカビや汚れが人体や生活に与える影響として、吸水率やカビや菌の汚れの耐性を検討する。

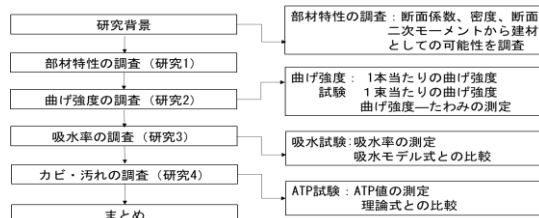


図 1 研究フロー

表 1 使用材料

使用材料	内容	産地
ヨシ(研究 1)	300mm, 30 本, 節 1,2 個	宮城県石巻市 (2022-2023 年冬季刈取)
オギススキ (研究 1)	300mm, 30 本, 節 1,2 個	宮城県石巻市 (2022-2023 年冬季刈取)
ヨシ(研究 2)	230mm, 30 本, 節 1,2 個	宮城県石巻市 (2022-2023 年冬季刈取)
オギススキ (研究 2)	230mm, 30 本, 節 1,2 個	宮城県石巻市 (2022-2023 年冬季刈取)
ヨシ(研究 3)	10mm, 直径 55mm 節 1,2 個, 水量 20ml	宮城県石巻市 (2022-2023 年冬季刈取)
オギススキ (研究 3)	10mm, 直径 55mm 節 1,2 個, 水量 20ml	宮城県石巻市 (2022-2023 年冬季刈取)
ヨシ(研究 4)	10mm, 節 1,2 個, 水量 20ml	宮城県石巻市 (2022-2023 年冬季刈取)
オギススキ (研究 4)	10mm, 節 1,2 個, 水量 20ml	宮城県石巻市 (2022-2023 年冬季刈取)

表 2 実験項目

項目	試験項目	試験内容
研究 1	調査 1	断面測定 断面の外径、内径を測定しヨシは中空円の公式、オギススキは楕円の公式より断面係数 $[\text{mm}^3]$ 、断面二次モーメント $[\text{mm}^4]$ を算出。
	調査 2	密度算出 一本ごとに重量と体積を測定し密度 $[\text{g}/\text{cm}^3]$ を算出。
	調査 3	節の位置情報整理 右から節までの距離 $[\text{mm}]$ を測定。 節間の距離 $[\text{mm}]$ も測定。
研究 2	強度試験	3 点曲げ試験 ヨシ、オギススキ 30 本曲げ荷重 $[\text{N}]$ を測定。
	曲げ強さ-変形試験	ヨシ、オギススキ 30 本たわみ ： データロガー、変位計
研究 3	吸水試験	吸水率 含水量 吸水後の質量変化の測定 ロジスティック成長率・吸水モデル式
研究 4	ATP 試験	ATP ふき取り検査 カビ発生後の表面ふき取り回数：10 回 ロジスティック成長率・理論式

表 3 実験要因と水準

項目	要因	水準
研究 1 試験体調査	断面	断面係数 $[\text{mm}^3]$ 、断面二次モーメント $[\text{mm}^4]$
	密度	質量測定 $[\text{g}]$ 、体積算出 $[\text{cm}^3]$
	節の位置	節間の寸法測定 $[\text{mm}]$
研究 2 曲げ試験	曲げ強度 たわみ	3 点曲げ試験 変位計のたわみ $[\text{mm}]$ 測定
研究 3 吸水試験	茅角度 温度環境 湿度環境	90 度, 20~25℃ 約 50% (蓋無), 約 90% (蓋有)
研究 4 ATP 試験	茅角度 温度環境 湿度環境	90 度, 20~25℃ 約 50% (蓋無), 約 90% (蓋有) ATP (アデノシン+リン酸基)



写真 1 試験体の状況（研究 1）

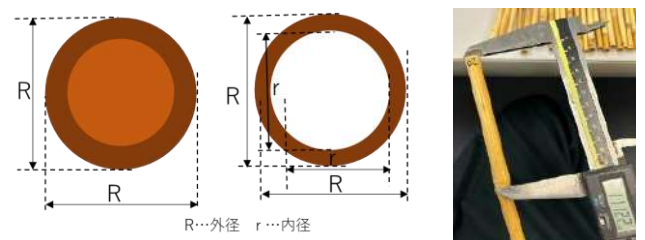


図 1 オギススキとヨシの断面構成

2. 研究概要

2.1 オギススキの部材特性の調査（研究1）

2.1.1 断面測定

図1に示すようにヨシは空洞があるため断面の内径、外径を求めオギススキは空洞がないため、断面の外径を測定し断面係数、断面二次モーメントを求めたわみ、座屈などの断面性能に関する調査した。断面係数の結果は、図2に示す。ヨシは式(1)、オギススキは式(2)を用いて算出した。その際の外径、内径の測定は図1c)の通りに行った。ヨシの断面係数は、平均値 15.1621mm^3 で最大値は 21mm^3 以上であった。逆に、オギススキの断面係数は、平均値は 57.5307mm^3 で最大値は 120mm^3 程度であった。断面二次モーメントの結果は図3に示す。ヨシは式(3)、オギススキは式(4)を用いて算出した。ヨシの断面二次モーメントは、平均値は 48.4811mm^4 で最大値は 116mm^4 程度であった。オギススキの断面二次モーメントは、平均値は 249.957mm^4 で最大値は 630mm^4 程度であった。オギススキはヨシと比較すると断面係数は約3~4倍、断面二次モーメントも約5倍高いためたわみに強いといえる。

2.1.2 密度測定

ヨシの密度とオギススキの密度の結果は図4に示す。ヨシは式(5)、オギススキは式(6)を用いて算出した。ヨシの密度の平均値は 0.19g/cm^3 であった。オギススキの密度の平均値は 0.35g/cm^3 であった。オギススキの密度はヨシより約0.15 g/cm^3 大きく、密度の高いものは竹に匹敵する密度であった。この結果、物理的に強度が高く荷重に対する耐久性があり、長期間の使用や厳しい環境条件に耐えられると考える。

2.2 オギススキの曲げ強度の調査（研究2）

2.2.1 5本1束あたりのオギススキ曲げ強度試験

曲げ強度算出のための強度試験は、図5の概要図のように試験を行った。オギススキは50t アムスラーを使用しデータロガーを接続し荷重を求め、たわみは変位計を使用し求めた。ヨシはデジタルフォースを用いて荷重を求め、たわみはデータロガーに接続し変位計を用いて測定した。図6c)のグラフからオギススキはヨシと比較して抵抗力が大きいことが判明した。

2.2.2 ヨシ、オギススキの最大たわみ量

オギススキとヨシの破断時の最大たわみ量を図6a)に示した。ヨシは平均して5mm、最大でも7mm以下のたわみだったのに対し、オギススキは平均して8mm、最大で9mmもたわみがあった。標準偏差もオギススキとヨシの差が0.3ほどありオギススキのばらつきの方が少なかった。オギススキはヨシと比較して大きいたわみでありながら高い荷重に耐えることができ建材としてヨシより利用価値が高いものである。

2.2.3 たわみが2mm, 4mmの時の最大荷重

実際に施工する際は、人の足で踏まれる際に1本分の4mm以上は沈まないと考え、オギススキとヨシの最大荷重の比較を2mm, 4mm時での標準偏差のグラフを作成し結果を図6b)に示し比較を行った。グラフから、ヨシは2mm時で20N, 4mm時で60Nの荷重に耐えられないのに対し、オギススキは2mm時でも20N, 4mm時で240N以上の荷重に耐えることができヨシと比較しかなり丈夫な建材であると判明した。また、オギススキは標準偏差から建材利用価値が高い。

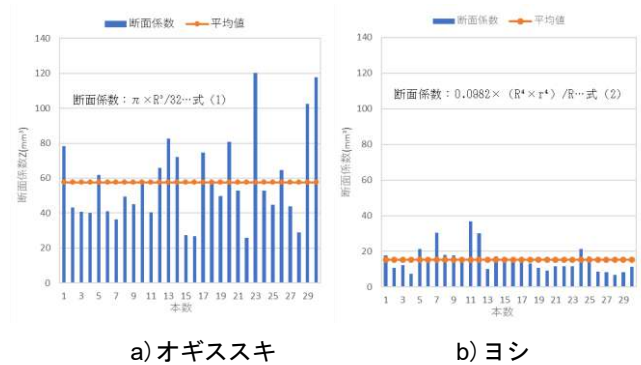


図2 断面係数比較

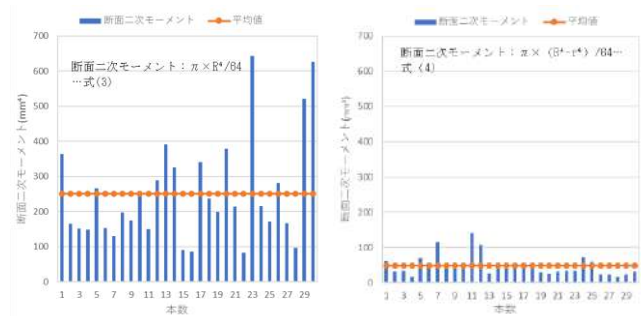


図3 断面二次モーメント比較

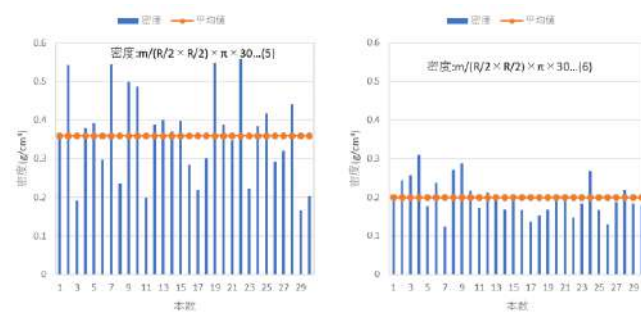
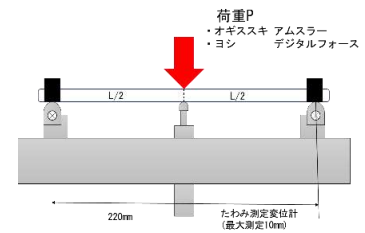


図4 密度比較



a) 試験状況



b) 概形図

図5 曲げ強度算出のための強度試験

2.2.4 4mmまでの裁荷時エネルギー

裁荷時エネルギーも実際に施工する際に4mm以上は沈まないと考えて式より4mmまでの裁荷時エネルギーを求め、標準偏差のグラフを図6d)に示した。ヨシは500N・mm, オギススキは3100N・mmで約6倍のエネルギーがあった。標準偏差は、ヨシが35, オギススキは30ほどでエネルギーのばらつきが少なかった。オギススキの方が葺き替えの際、荷重がかかる際に多くのエネルギーが発生することが判明した。

2.3 オギススキの含水率の調査（研究 3）

2.3.1 吸水試験を伴う重量変化

茅葺屋根が痛む原因として降雨による水の浸透による劣化が考えられる。野村研究から、「茅素材が湿度・角度・改質処理による含水特性の影響を実験したが 90°が最も吸水率が高かったと判明している。」³⁾そのため、実際の茅葺屋根を部材モデルで再現した図 7 のように試験体を作成し、吸水試験は、90°の状態で行った。その際に、断面が大・中・小のものを 3 本ずつ選び束の重量と 1 本ずつの重量を測定した。結果として、オギススキ・ヨシは共に 140 時間を超えても吸水し続けた。時間当たりの重量変化を見てみると、オギススキ・ヨシ共に、吸水試験開始 1 時間の吸水率が最大になり、その後の時間当たりの吸水量は減少傾向であり、野村研究と同様の結果が得られた。吸水率はヨシと比べてオギススキは低いという結果が得られた。

2.3.2 理論吸水率と実験吸水率の比較

理論吸水率と実験吸水率の比較として、図 7 のモデル式を用いて比較を行った。図 9 は、蓋無、蓋有の状態の吸水試験の理論吸水率と実験吸水率の比較結果を示したグラフである。結果として、有効限界吸水率はオギススキ、ヨシ共に長期の方が高く短期、長期共に湿度が高い蓋有りの値が高い。有効限界吸水率は短期と比較し長期の方に明確に差が見られた。短期、長期両方とも、オギススキとヨシ共に初期の吸水率の速さに明確な差は見られなかった。長期の吸水率の速さにも同様の結果が見られた。図 10 は、吸水試験におけるロジスティック係数の比較を示したグラフである。有効限界吸水率である a 値は、短期長期共にヨシの方が大きくなった。長期吸水速度係数である c 値は、ヨシの方が多くなるため、オギススキはヨシと比較すると吸水速度は遅いことが判明した。これらの結果から、雨が降った時の屋内外の影響は、吸水率の限界値は湿度が高いと高くなる。吸水速度も湿度が高いと高くなるため雨天時の茅材の水の浸透する速さが速くなるがオギススキはヨシより速度が低いいため雨に対する影響はオギススキの方が少なく茅葺屋根材に最適である。

2.4 オギススキのカビ・汚れの調査（研究 4）

2.4.1 吸水率変化を伴う ATP 値の変化の比較

カビ・汚れの調査を行うため、吸水試験からカビを発生させた後、ATP ふき取り試験を行い、図 8 の測定器を用いて汚れの指標である ATP 値を測定する。図 8 の化学式から、ATP とは、アデノシンに 3 つのリン酸基が結びついたものである。アデノシンに 2 つのリン酸基が結びついた ADP、1 つのリン酸基が結びついた AMP は ATP の分解成分である。図 12 には蓋有の状態の吸水率変化に伴う ATP 値の結果を示した。こちらヨシの方が吸水率は高くなった。結果として、オギススキ、ヨシと共に吸水率が増加するにつれて ATP の値は比例して高くなることが判明した。

2.4.2 理論 ATP 値と実験 ATP 値の比較

理論 ATP 値と実験 ATP 値の比較は、2.3 のような理論式を用いて比較を行った。図 11 は蓋無、蓋有の状態の ATP 試験の理論 ATP 値と実験 ATP 値の比較結果を示したグラフである。結果、オギススキとヨシ共に湿度が高くなる蓋有の状態でのカビの発生が多く ATP の汚れの数値も高くなった。また、図 11 と図 12 から、蓋無ではオギススキとヨシでは、吸水時間が長くなるにつれて吸水率はヨシが高いが ATP 値はオギススキが高くなる。しかし、蓋有では吸水時間が長くな

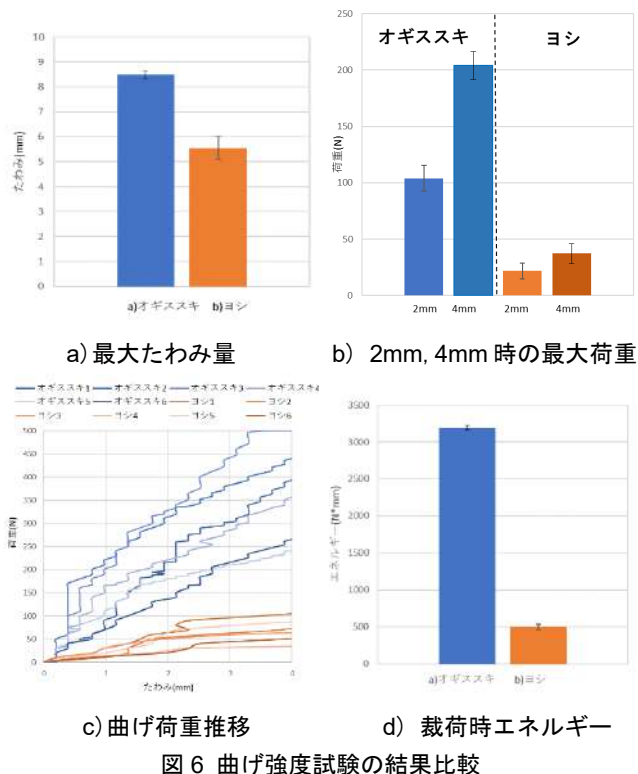
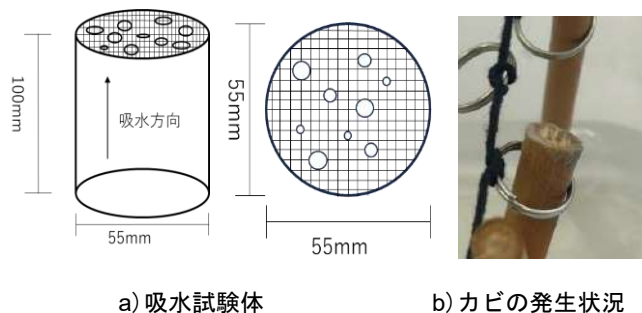


図 6 曲げ強度試験の結果比較



$$f(x) = a \left(1 - \frac{b}{e^{cx}} \right)^d$$

a:有効限界吸水率(%)
b:吸水分固定化係数
c:長期吸水速度係数
d:初期吸水速度係数

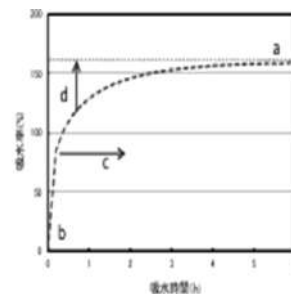
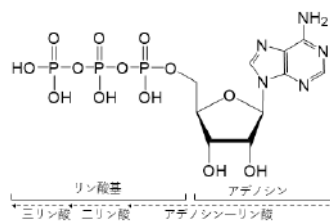


図 7 吸水試験概要図



a) ATP (アデノシン三リン酸) b) ATP 測定器

図 8 ATP 試験の概要

るにつれて吸水率はヨシが高く ATP 値もヨシの方が高くなる。これは、オギススキはスポンジ状の界面組織が詰まっており水分保持性が高くなるためカビが発生しやすい。ヨシは蓋無では導管から吸った水分が抜けるが、蓋有では導管から吸った水分が上部に残るためカビや有機物の汚れが発生していると考えられる。有効限界値は蓋無ではヨシよりオギススキの値が高く、蓋有ではオギススキよりヨシの値が高かった。初期 ATP 速度係数は蓋無では明確な差は見られなかったが、蓋有では汚れの速度がヨシよりオギススキの方が高かった。長期 ATP 速度係数は蓋無蓋有共にヨシよりオギススキの汚れの速度が高くなった。この理論式から、ヨシよりオギススキの方が汚れる速度が高いため劣化が早いと考えられる。茅葺き屋根の長期耐用のためにはオギススキはヨシよりも外的要因から守る管理をしなければならない。

3. まとめ

オギススキの特性を本研究で以下の知見が得られた。

- 1) ヨシと比較して、断面係数、断面二次モーメントが高く強度が高く耐久性があるが部材によるばらつきがあるため資材の組み合わせを適切にしなければならない。
- 2) 曲げ強度は、ヨシより最大たわみ量は 2mm 大きく最大荷重は 4 倍であり、裁可時エネルギーも 6 倍であった。標準偏差のばらつきも少ないため建材利用価値が高い。葺き替え作業時に耐える荷重やたわみが大きいいため劣化が減少されると考える。
- 3) 吸水試験の結果から、湿度が高い時の水の浸透する速さがオギススキはヨシより速度係数が低いいため雨に対する影響はオギススキの方が少なく雨天時の茅葺き屋根材に最適であると考えられる。
- 4) ATP 試験の結果から、蓋無、蓋有共に吸水率はヨシが高いが、理論式からヨシよりオギススキは汚れる速度が高いため劣化が早いと考えられる。茅葺き屋根の長期耐用のためにオギススキはヨシより外的要因から守る管理をしなければならない。

参考文献

- 1) 安藤邦廣、民家造、学芸出版社 2009 年
- 2) 野原大陽ら、屋根葺き植物資材オギススキの炭素固定量と収穫性ならびに施工条件の検討 2023 年度建築学会研究報告書
- 3) 野村奈緒ら、茅勾配と改質処理を施した茅部材の含水特性とカビ劣化性状の評価 2011 年度年度建築学会研究報告書
- 4) 相良心大ら、屋根葺き植物資材オギススキの力学・含水・ATP 変化量特性を踏まえた建材性能の評価 2024 年度年度建築学会研究報告書

謝辞

本研究は、資材の提供を熊谷産業に工学院大学と熊谷産業の共同研究であり、感謝の意を示します。

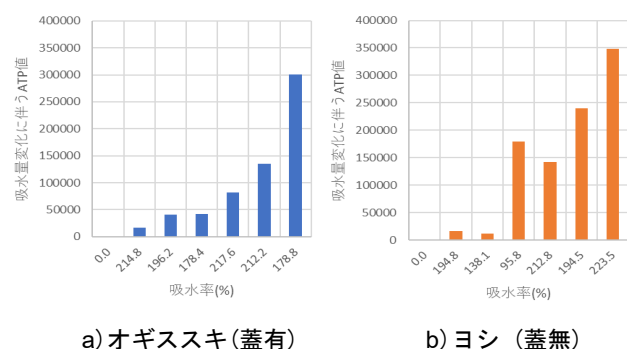


図 12 吸水率変化に伴う ATP 試験結果の比較

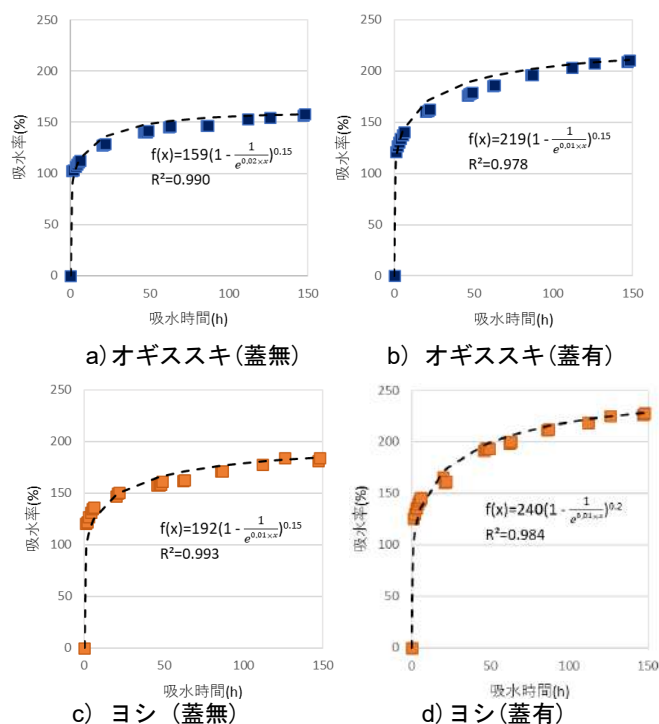


図 9 吸水試験結果 (理論吸水率と実験吸水率) の比較

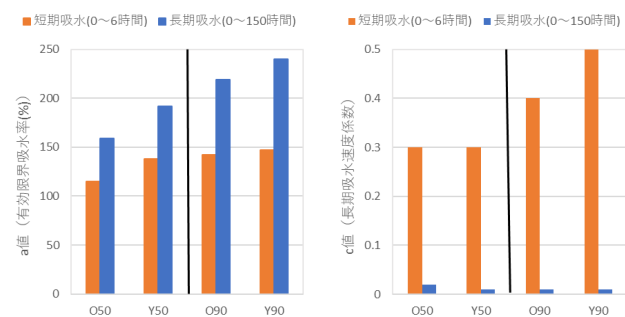


図 10 吸水試験におけるロジスティック係数の比較

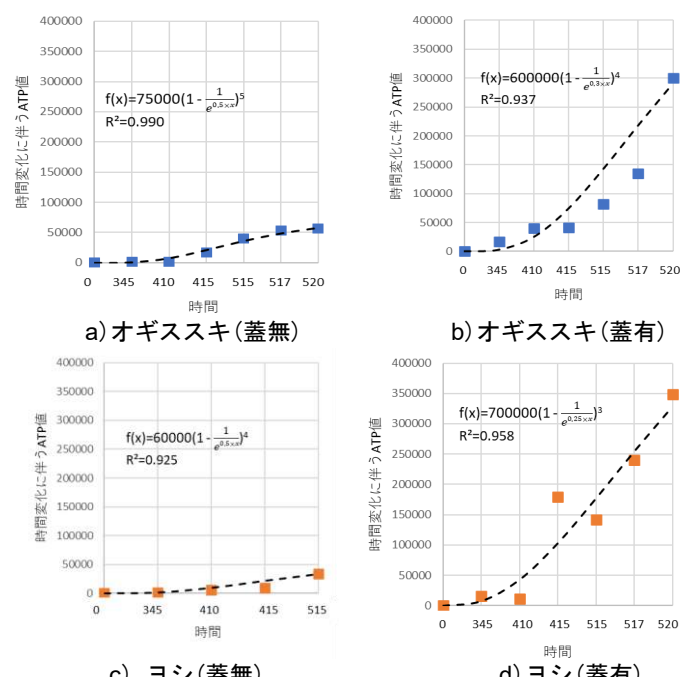


図 11 ATP 試験結果 (理論 ATP 値と実験 ATP 値) の比較