


# 派遣学生成果報告

所属専攻・学年	人間・機械科学専攻 1年
学生氏名	山崎 剛 
課題名	引違い窓の衝撃シミュレーションと その力学的評価
コーディネータ教員	坂本 二郎 (人間・機械科学専攻)
課題担当教員	宮崎 祐介 (機能機械科学専攻)
派遣先企業	YKK AP 株式会社
研修期間	平成21年8月24日～9月4日
研修先	富山県黒部市

## 平成21年度インターンシップ実施報告書

専攻・学年： 人間・機械科学専攻 1年      学生氏名： 山崎 剛  
テーマ名： 引違い窓の衝撃シミュレーションとその力学的評価  
研修先： YKK AP株式会社      担当者氏名： 井上 浩文  
課題担当教員名： 坂本 二郎  
研修期間： 平成21年8月24日 ～ 平成21年9月4日（実施日数 10日間）

### 1. 研修内容の概要

- ・ 窓商品の基礎知識を習得
  - ・ 有限要素モデルを用いた引違い窓の衝突解析⇒衝撃力の経時変化、速度変化を予測
  - ・ 窓（実製品）を用いた実証試験⇒窓の衝撃力・障子速度を測定
  - ・ 解析値と測定値の比較⇒解析モデルの妥当性評価
- 引違い窓の有限要素モデルを作成し衝突解析を実行した後、試験を行い比較することで、作成した有限要素モデルの妥当性を検証した。
- また、考察を行い、モデルの変更をすることで再現性の高いモデルを構築した。

### 2. 研修の成果（自分の能力が向上した点、知識が増えた点）

- ・ 今回使用した MSC. Marc は以前にも使っていたソフトウェアであったが、衝撃シミュレーションの実施により、更に多くの機能を知り扱えるようになった。
- ・ 窓製品の基礎知識習得や窓の有限要素モデル作成過程で実は窓内部は非常に複雑な構造、多くの部品で構成されていることを知った。
- ・ 今回研修期間は2週間しかない中、窓のモデル作成、衝突解析、実証試験、報告発表とすべきことが非常に多く厳しい予定であった。しかし、その中で終えるように予定を立てて実行することで、期間内に成果を出すという力がついた。

### 3. 研修先への要望・大学の支援体制に対する要望

#### <研修先>

- ・ スケジュールや発表できる結果を出すという観点から、やはり2週間の期間は短く、1ヶ月程度の期間を与えて頂きたかった。
- ・ 安全性を考慮して実証試験には立ち会うだけだったが、せっかくの機会だったので、実際の試験に参加させて頂きたかった。

### 4. その他（感想、後輩へのアドバイスなど）

インターンシップはただ自分の技術向上や知識を増えたりするだけではなく、勉強や研究に対する意識も変わり、働くということに対するモチベーションも上がるので、就活前に一回は経験して欲しいと思います。また、この創成研究は普通のインターンシップとは違い、より実践に近い部分での研究や開発に携われるので、より得られるものも大きいと思います。

# 引違い窓の衝撃シミュレーションとその力学的評価

派遣先企業 YKK AP株式会社  
自然科学研究科 人間・機械科学専攻  
山崎 剛

1

## 背景

住宅用窓・サッシと構造      集合住宅、非居住建築用のサッシ、外装

窓商品の方向性

- 環境への対応 [省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減、長寿命化]
- 生活・使用時のメリット追求 [快適性、利便性、安全性、公共性]
- 建物の意匠要求への対応 [デザイン性、大開口化]

窓の高断熱化  
使用時の熱負荷軽減対策  
開口部の防犯性向上  
生活者の傷害対策  
大開口化 ⇒ 強度向上

窓メーカー: 環境・省エネ、安全・安心を追求した窓の開発とその設計方法が必要

2

## 背景

環境・省エネ対策: 建物の暖冷房エネルギー、CO<sub>2</sub>排出量削減 ⇒ 窓の高断熱化

断熱・遮熱性能: 劣る 障子重量: 小 → 断熱・遮熱性能: 優れる 障子重量: 大

窓の複層ガラス化が進み障子重量が増加 ⇒ 窓開閉時の衝撃力が増加する傾向

窓商品のさらなる品質向上、安全性向上  
⇒ 枠・障子衝突時に大きな衝撃力が発生しない対策が必要  
— 衝突安全性を配慮した製品設計 —

製品の損傷対策、安全性対策

- 枠・障子の角取り
- ソフトクローズ機構
- 衝突防止部品
- 衝撃緩衝材

3

## 目的

◆ 目標 … 衝突安全性を配慮した製品設計

目的 **引違い窓開閉時の衝突解析モデルの構築**

実施内容

- 有限要素モデルを用いた引違い窓の衝突解析  
窓の変形量及び衝撃力を予測
- 窓(実製品)を用いた実証試験  
実製品での障子の枠衝突試験を実施することで、窓の変形量や衝撃力を測定
- 解析値と測定値の比較  
解析値と測定値を比較することで、有限要素モデルの妥当性を評価

4

## 有限要素モデル

窓の形状簡略化  
障子と縦枠からなる単純モデル

有限要素モデルの要素

部品、部材名	要素タイプ	要素数
揺動片、引寄せ片、ガスケット	三次元ソリッド要素	1,484
縦枠、框	平面要素	4,928
ガラス	平面要素	952

- 製品サイズ: W 1,690[mm] × H 1,570[mm]
- 障子サイズ: w 806[mm] × h 1,545[mm]
- 障子質量: 33[kg]

5

## 解析条件

材料定数

部品、部材名	ヤング率[MPa]	ポアソン比	質量密度[kg/m <sup>3</sup> ]
縦枠、框	6.9 × 10 <sup>4</sup>	0.30	2.7 × 10 <sup>3</sup>
ガラス	7.2 × 10 <sup>4</sup>	0.23	2.5 × 10 <sup>3</sup>
揺動片、引寄せ片	2.5 × 10 <sup>5</sup>	0.30	1.1 × 10 <sup>4</sup>
ガスケット	4.9	0.45	4.7 × 10 <sup>3</sup>

拘束条件

- 枠: ビス止め部15箇所を全方向固定
- 障子: Z、Y方向の移動を拘束  
X方向に速度Vを与えた

障子速度V

- 0.2 [m/sec] ~ 0.6 [m/sec]
- YKK AP(株)の開閉試験基準にもとづく

MSC.MARCを用い解析を実行

**【検証項目】 衝撃力、歪、変位**

6



## 実証試験

障子が棹に衝突した際の、揺動片・引寄せ片位置の衝撃力を測定する

試験概略図

衝撃力測定装置  
レーザー変位計 (障子速度を測定)

レーザー変位計  
揺り

試験風景

衝撃力測定方法

測力計  
障子  
棹

測力計の歪み測定 ⇒ 棹にかかる衝撃力を換算

試験条件

障子速度 (m/sec)	試験回数 (回)	速度条件
0.20	10	繰り返し開閉耐久試験
0.30	10	
0.45	10	通常、人が開閉する速度
0.60	10	少し強めに開閉した速度

7

## 解析値と測定値の比較

(1) 衝撃力の比較 (モデル1)

衝撃力 [N]

時間 [msec]

測定値 (上)  
測定値 (中央)  
測定値 (下)  
解析値 (上)  
解析値 (中央)  
解析値 (下)

5.1 [msec] (平均)

※衝撃力=上部+下部+中央部の最大衝撃力

○ 解析値  
● 測定値

812 [N] (平均値)

速度 [m/sec]

最大衝撃力の速度に対する変化

◆ 結果: 測定値と解析値の乖離大

- 衝突時間: 解析値 < 測定値、測定値 - 解析値 ≒ 平均 5.1 [msec]
- 衝撃力: 中央部 < 上部 < 下部、解析値、測定値共に同傾向
- 窓全体の衝撃力: 測定値 < 解析値、解析値 - 測定値 ≒ 平均 812 [N]

8

## 考察

測定値と解析値の乖離原因

解析モデルの簡略化 (モデル1にて解析を実施)

切欠加工: 上枠・下枠を縦枠に接合するための縦枠端部のヒレを切削

切欠加工無し

切欠加工有り

モデル1

モデル2

モデル1の結果を踏まえ、実物に則したモデル2で再度、解析を実施

9

## 解析モデル変更の効果

(2) 解析モデルの変更 (モデル2)

衝撃力 [N]

時間 [msec]

測定値 (上)  
測定値 (中央)  
測定値 (下)  
解析値 (上)  
解析値 (中央)  
解析値 (下)

5.1 [msec] (平均)

※衝撃力=上部+下部+中央部の最大衝撃力

○ 解析値  
● 測定値

224 [N] (平均値)

速度 [m/sec]

最大衝撃力の速度に対する変化

	測定値	モデル1	モデル2
衝突時間	18.7 [msec]	13.6 [msec]	18.6 [msec]
測定値との乖離	5.1 [msec]	3.1 [msec]	5.1 [msec]
衝撃力	2078 [N]	2381 [N]	2303 [N]
測定値との乖離	812 [N]	224 [N]	224 [N]

※衝突時間、衝撃力共に4つの障子速度での平均値

◆ モデル2は、モデル1と比較して衝突時間、衝撃力共に測定値との乖離が改善された

◆ 切欠加工をモデルに反映 ⇒ 強く拘束されていた棹の端部の固定が緩み、変形時間が大きくなった。

10

## 結言

- 実証試験の結果から、障子の揺動片・引寄せ片が縦枠に当たる際の衝撃力は、中央部 < 上部 < 下部の順で大きくなることが分かった。また、解析・測定値共に同じ傾向である。  
⇒ 窓の衝突安全性の向上には、特に下部の衝撃緩和対策が必要
- 切欠加工の有無を解析モデルに反映させるか否かで解析値が大きく異なった。  
⇒ 縦枠端部の強度、拘束条件が解析結果に大きな影響を与えることがわかった。
- 解析モデルの変更により、誤差が10%程度の範囲に収まった。  
⇒ 窓の開閉衝突における衝撃力の経時変化や速度変化を、簡略化した解析モデルで、再現可能であることを示した。

11

## 研修を通して・謝辞

本研修を通して

- 企業で実施されているシミュレーション手法や製品の検証実験を体験
- 今まで学んできたことのものづくりへの反映を直に感じる

研究やメーカー就職してもものづくりをすることに対するモチベーションが上がった

- 社外秘内容の扱いなど、企業の情報セキュリティに関する意識の高さを実感

謝辞

多くの指導をしてくださったYKK AP(株)の皆様をはじめ、この研修に関わってくださった多くの皆様に大変お世話になりました。心より厚く御礼申し上げます。

12