

竜巻等突風による被害およびその強さの評価スケールに関する最近の研究動向



田村幸雄

豊橋市

山形県庄内町・竜巻？

2005年12月25日

死者5名, 負傷者32名



瞬間風速 36.9m/sを記録

被害発生面, 飛散方向

換気扇落下

基礎とタイル剥離

横瓦飛散

倉庫扉

TVアンテナ

倉庫倒壊

鉄道車

列車脱線転覆

車庫シャッター破壊

ビニルハウス倒壊

TVアンテナ折損

19時14分

最近の竜巻等突風に関する組織的調査研究

- 科研費「2006年台風13号による被害発生メカニズムと対策に関する調査研究」(2006・4～2008・3)
- 2005・12・25 山形県庄内町の竜巻？ 延岡等の竜巻に関する調査研究(2006・11・7 佐呂間の竜巻)
- 2008・3・26 竜巻注意情報
- 原子力安全基盤機構「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(2008・4～2011・3)
- 気象研究所, 建築研究所, 東京工芸大学「竜巻等の突風による被害調査に関する研究」(2010・11～2014・3)
- 科研費「平成24年5月6日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態の調査研究」(2012・5・6 つくば等の竜巻2013・3)
- 京都大学防災研・共同利用研究拠点プログラム (2013・7～2016・3)
- 東京工芸大学風工学研究センター・共同利用研究拠点プログラム (2013・7～2016・3)

山形県庄内町・竜巻？

2005年12月25日



防雪柵の被害

降伏モーメント M_y

全塑性モーメント M_p

破壊に要する推定瞬間風速35～40m/s

防雪柵の直撃によるコンビニ玄関の被害

酒田河川国道管理事務所提供

山形県庄内町・竜巻？

2005年12月25日

- ・JR羽越本線・特急いなほ14号脱線事故
- ・死者5名

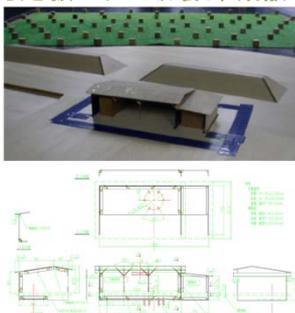


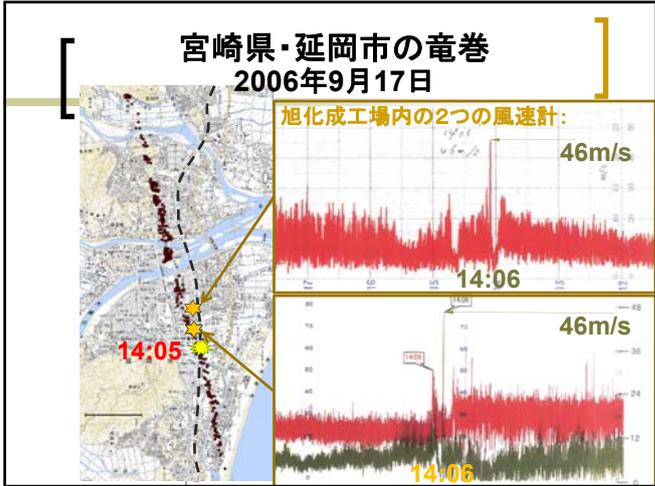
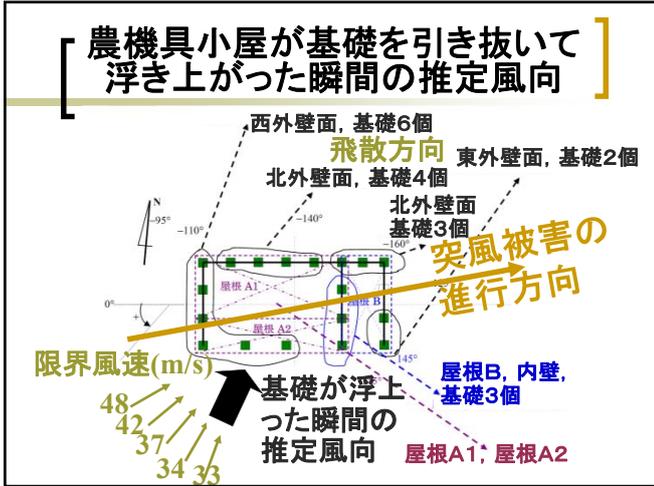
農機具小屋の飛散

基礎ブロック18個ごと, そっくり引き抜かれて破壊し, 飛散



河北新報





北海道佐呂間町の竜巻 2006年11月7日

電柱および道路標識の被害分布



建物被害の特徴

- 竜巻進路にある殆ど全ての建物が被害を受けた。
- 被害建物106棟のうち、42棟が全壊し、全壊率が高い。
- 被害建物のうち、78%の建物は屋根被害を受けた。つまり、竜巻進路にある殆どの建物が屋根被害にあった。
- 被害建物のうち、77%の建物はガラス・外壁などの被害を受けた(主として飛来物による)

電柱の破壊状況

- 竜巻の進路側で電線に直交する方向に倒壊
- ほとんどは基部の曲げ破壊
- 推定風速: 50~67m/s以上



飛来物の状況

被害甚大地域



倒壊した道路標識柱

- 竜巻の進行方向に倒壊
- 標識板取付け用横梁は上側に曲折
- 標識板は50mほど飛ばされ、他の飛来物とともに堆積
- 推定風速: 85m/s以上



倒壊前の標識(実物)
北海道開発局網走開発建設部



北関東での竜巻 2012年5月6日

つくば市の2階建て木造住宅の被害から推定した等価水平風速



基礎ごと転倒建物



転倒限界風速

2階建て転倒建物(寄棟屋根)

基礎含む建物重量 $W=595\text{kN} \sim 737\text{kN}$

$V_{OT} = 109\text{m/s} \sim 121\text{m/s}$

徳島大学・野田稔
アスファルト路盤の剥離飛散からの推定風速もほぼ110m/s程度



転倒のシナリオ

- 風で押されて、表土を削りながらずれる(玄関ポーチを基点として20度程度回転)
- 表土の盛り上がり部分の抵抗が大きくなって、約20度のラインを基点として転倒開始
- 建家は倒壊(破壊, 破損)しながら転倒
 - 全体がバラバラになる訳ではない!
 - (水平耐力が所定の値以下になるだけ)
 - 要は基礎を持ち上げられるか否か
 - 柱および筋かいの許容耐力のレベルで充分持ち上げられる

最近の竜巻等突風に関する組織的調査研究

- 科研費「2006年台風13号に発生機構解明と対策に関する調査研究」(2006・11・7 佐呂間の竜巻)
- 科研費「山形県庄内町の竜巻? 延岡等の竜巻」(2005・12・25 調査研究)(2006・11・7 佐呂間の竜巻)
- 2005 科技振調費「竜巻等の実態および発生予測と対策」(2007・4~2008・3)
- 原子力安全基盤機構「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(2008・4~2011・3)
- 気象研究所, 建築研究所, 東京工芸大学「竜巻等の突風による被害調査に関する研究」(2010・4~2014・3)
- 科研費「平成24年5月6日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態」2012・5・6 つくば等の竜巻(2013・3)
- 京都大学防災研・共同利用研究拠点プログラム(2013・7~2016・3)
- 東京工芸大学風工学研究センター・共同利用研究拠点プログラム(2013・7~2016・3)

風力係数

(東京工芸大学・空力データベースより)

<http://wind.arch.t-kougei.ac.jp/system/contents/code/tpu>

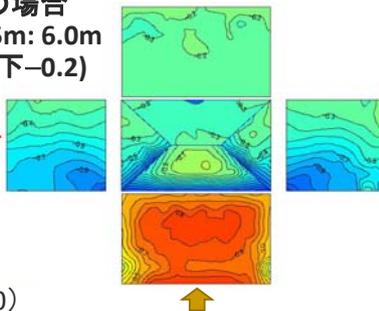
基礎ごと転倒建物の場合

$D:B:H = 5.85\text{m} : 8.55\text{m} : 6.0\text{m}$

$C_D = 1.0$ (風上0.8, 風下-0.2)

寄棟屋根

$C_{L1} = -0.49, C_{L2} = -0.31$



(陸屋根の場合は

$C_{L1} = -1.1, C_{L2} = -0.50$)

2007年4月~2008年3月

竜巻等の実態および発生予測と対策

科学技術振興調整費
重要政策課題への機動的対応の推進
課題1 竜巻等による突風災害対策に関する調査研究

東京工芸大学, 東京大学海洋研究所, 名古屋大学, 気象研究所, 防災科学技術研究所, 中央大学, 日本気象協会, 京都大学, 京都大学防災研究所, 東北大学, 建築研究所, 日本建築総合試験所, 東京工業大学, 九州大学理学研究院, 海洋研究開発機構, 防衛大学校, 日本大学, 宮崎大学, 九州大学人間環境学研究院, 鉄道総合技術研究所, 徳島大学, 電力中央研究所
(下3行: 協力機関に変更)

2007年4月～2008年3月

4つのサブテーマ

気象学的研究

- サブテーマ1: 竜巻を生み出す環境場および竜巻の発生機構の研究
- サブテーマ2: 竜巻等の発生予測手法および監視技術の研究

風工学的研究

- サブテーマ3: 竜巻, ダウンバーストなどの突風による被害の実態解明
- サブテーマ4: 竜巻, ダウンバーストなどの突風に対する防災, 減災対策

竜巻等の突風による被害調査に関する研究 2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

- 気象研究所** 小司禎教, 山内 洋, 佐藤英一, (鈴木 修)
- 東京工芸大学** 田村幸雄, 松井正宏, 吉田昭仁, 岡田 玲
- 建築研究所** 河合直人, 喜々津仁密, 中川貴文, 石原 直, 荒木康弘
- 国土技術政策総合研究所** 奥田泰雄, 脇山善夫

最近の竜巻等突風に関する組織的調査研究

- 科研費「2006年台風13号に起因する発生機構解明と対策」(2005・12・25～2007・4～2008・3) 山形県庄内町の竜巻? 延岡等の竜巻
- 科研費「山形県庄内町の竜巻? 延岡等の竜巻」(2005・12・25～2007・4～2008・3)
- 科研費「平成24年5月6日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態」(2012・5・6～2013・3) つくば等の竜巻
- 2008・3・26 竜巻注意情報
- 原子力安全基盤機構「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(2008・4～2011・3)
- 気象研究所, 建築研究所, 東京工芸大学「竜巻等の突風による被害調査に関する研究」(2010・11～2014・3)
- 京都大学防災研・共同利用研究拠点プログラム (2013・7～2016・3)
- 東京工芸大学風工学研究センター・共同利用研究拠点プログラム (2013・7～2016・3)

竜巻等の突風による被害調査に関する研究 2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

- 1. 竜巻等の突風による被害調査**
竜巻等による被害の共同現地調査, あるいは情報交換により, 被害情報の共有化を図り, 気象学と風工学の観点から多角的に竜巻被害を評価し, 把握する
- 2. 被害調査マニュアルの作成に向けた検討**
建築や風工学の非専門家が, 被害程度や風速を的確に評価できるマニュアル作成を目標として, わが国の実情に合った竜巻被害の評価手法, あるいは精度の高い風速推定手法を検討する

最近の竜巻等突風に関する組織的調査研究

- 科研費「2006年台風13号に起因する発生機構解明と対策」(2005・12・25～2007・4～2008・3) 山形県庄内町の竜巻? 延岡等の竜巻
- 科研費「山形県庄内町の竜巻? 延岡等の竜巻」(2005・12・25～2007・4～2008・3)
- 科研費「平成24年5月6日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態」(2012・5・6～2013・3) つくば等の竜巻
- 2008・3・26 竜巻注意情報
- 原子力安全基盤機構「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(2008・4～2011・3)
- 気象研究所, 建築研究所, 東京工芸大学「竜巻等の突風による被害調査に関する研究」(2010・11～2014・3)
- 京都大学防災研・共同利用研究拠点プログラム (2013・7～2016・3)
- 東京工芸大学風工学研究センター・共同利用研究拠点プログラム (2013・7～2016・3)

竜巻等の突風による被害調査に関する研究 2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

- 竜巻等の突風による被害調査
- 2010.10.15 新潟県胎内市
- 2010.10.17 秋田県潟上市
- 2010.11.01 千葉県山武郡
- 2010.11.12 秋田県八峰町
- 2010.11.29 石川県志賀町
- 2010.11.29 福井県波寄市
- 2010.12.03 神奈川県鎌倉
- 2010.12.09 新潟県上越市
- 2011.04.25 茨城県取手市, 千葉県柏市, 鎌ヶ谷市
- 2011.11.19 鹿児島県徳之島市
- 2012.05.06 茨城県常総市, つくば市, 筑西市, 桜川市, 常陸大宮市, 栃木県益子町, 茂木町
- 2012.07.05 青森県津軽市

竜巻等の突風による被害調査に関する研究

2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

■ 被害調査マニュアルの作成に向けた検討

フジタスケール

建築物
木造家屋
屋根小屋組
屋根ふき材

工作物

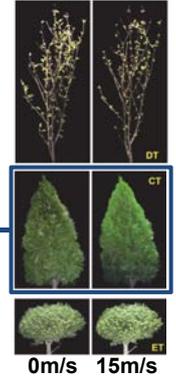
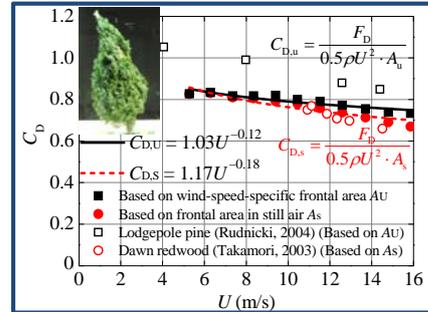
道路標識
塀・フェンス
樹木
車両

竜巻等の突風による被害調査に関する研究

2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

樹木の風速による形状変化と抗力係数

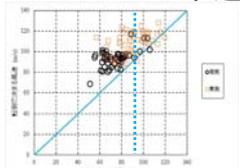


竜巻等の突風による被害調査に関する研究

2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

木造住宅の耐風性能

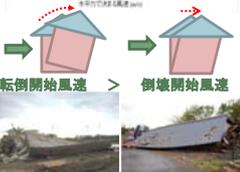


2011年東日本大震災の津波で被害を受けた在来工法と2×4工法の2階建て木造住宅(53棟¹⁾)について、水平耐力²⁾と転倒耐力と求め、水平方向の一律流と仮定して、それぞれ倒壊開始風速と転倒開始風速を計算した。

水平耐力は非構造部材の耐力なども考慮した。必要壁量から算出した短期許容せん断耐力の2-6倍の耐力に相当する。

倒壊開始風速が55m/s～120m/s、転倒開始風速が80m/s～130m/sで、個々の木造住宅について倒壊開始風速と転倒開始風速を比較すると、ほとんどの住宅で転倒開始風速>倒壊開始風速である。

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 建築研究所「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告」建築研究資料 No.136, 2012.3
2) 『財』日本住宅・木材技術センター「木造軸組工法住宅の限界耐力計算による設計の手引き」2009.3

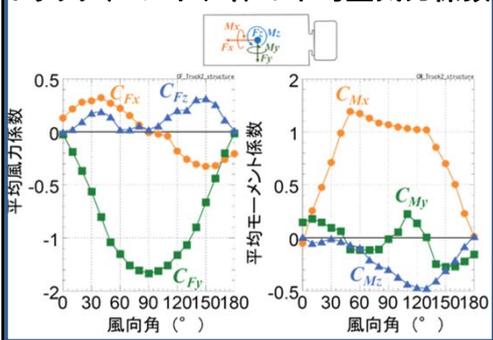


竜巻等の突風による被害調査に関する研究

2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

トラック(バンボディ)の平均空気力係数



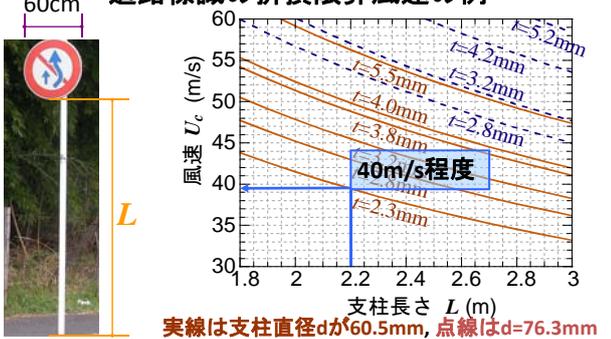
トラック (バンボディ)	全長 5030mm 全高 1875mm 全幅 1665mm 車両重量 1240kg
トラック (フルボディ)	全長 6540mm 全高 2280mm 全幅 2000mm 車両重量 1540kg
バス	全長 10500mm 全高 2490mm 全幅 2525mm 車両重量 12920kg
トラック (フルボディ)	全長 4735mm 全高 1845mm 全幅 1680mm 車両重量 1600kg
トラック (フルボディ)	全長 4885mm 全高 1845mm 全幅 1680mm 車両重量 1950kg
トラック (フルボディ)	全長 3755mm 全高 1350mm 全幅 1600mm 車両重量 1990kg

竜巻等の突風による被害調査に関する研究

2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

道路標識の折損限界風速の例

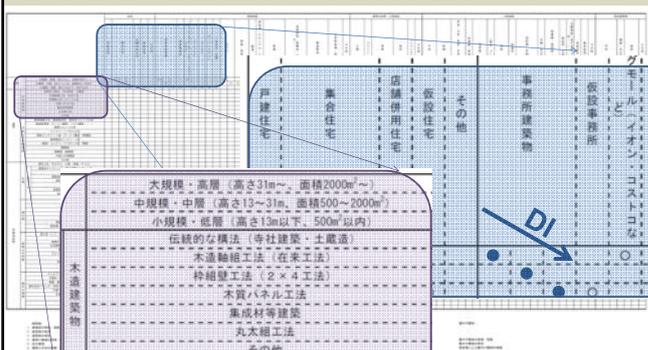


竜巻等の突風による被害調査に関する研究

2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学

建築物等の被害指標(DI), 被害程度(DOD)の候補



竜巻等の突風による被害調査に関する研究 2010・11～2014・3

気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学
建築物以外の被害指標(DI), 被害程度(DOD)の候補

No.	対象物	被害状況	被害原因	DOD	
				被害程度	被害指標
0	ハイブハウス	壁の上凸部	ビニールめくれ	骨組変形	骨組倒壊
11	屋根, 広告塔	地上凸部	傾斜	風倒	倒壊
12	道路標識	道路交通標識	傾斜	局部倒壊	倒壊
13	フェンス・柵	ネットフェンス 補強コンクリートブロック柵 木造フェンス	目地はがれ		倒壊
14	開閉シャッター	軽量ガラスシャッター 重量シャッター 軽量グリルシャッター 重量グリルシャッター	スラット抜け出し	中柱の外れ	レール

最近の竜巻等突風に関する組織的調査研究

- 科研費「2006年台風13号による生構構解明と対策」の竜巻? 延岡等の竜巻
- 科研費「山形県庄内町の竜巻」の調査研究(2005・12・25)
- 2006・11・7 佐呂間の竜巻
- 2007・4～2008・3
- 2008・3・26 竜巻注意情報
- 原子力安全基盤機構「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(2008・4～2011・3)
- 気象研究所, 建築研究所, 東京工芸大学「竜巻等の突風による被害調査に関する研究」(2010・11～2014・3)
- 科研費「平成24年5月6日に発生メカニズムと被害実態の」の調査研究(2012・5・6 つくば等の竜巻 2013・3)
- 京大防災研・共同研究「建物等構造要素毎の被害評価による竜巻等の突風風速推定指標の策定」(2013・4-2015・3)
- 東京工芸大学・共同研究「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」(2013・7～2016・3)

最近の竜巻等突風に関する組織的調査研究

- 科研費「2006年台風13号による生構構解明と対策」の竜巻? 延岡等の竜巻
- 科研費「山形県庄内町の竜巻」の調査研究(2005・12・25)
- 2006・11・7 佐呂間の竜巻
- 2007・4～2008・3
- 2008・3・26 竜巻注意情報
- 原子力安全基盤機構「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(2008・4～2011・3)
- 気象研究所, 建築研究所, 東京工芸大学「竜巻等の突風による被害調査に関する研究」(2010・11～2014・3)
- 科研費「平成24年5月6日に発生メカニズムと被害実態の」の調査研究(2012・5・6 つくば等の竜巻 2013・3)
- 京大防災研・共同研究「建物等構造要素毎の被害評価による竜巻等の突風風速推定指標の策定」(2013・4-2015・3)
- 東京工芸大学風工学研究センター・共同利用研究拠点プログラム (2013・7～2016・3)

東京工芸大学風工学研究センター共同利用・共同研究「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」(2013・7～2016・3)

今後の予定

- 気象研究所, 建築研究所+国総研, 東京工芸大学共同研究(2010・11～2013・3)の発展
- ・わが国の実情に合った竜巻被害の評価手法, および精度の高い風速推定手法の提案(DI, DODの整理)
- ・日本版竜巻スケール(従来の藤田スケールとの整合考慮)の提案
- ・日本版竜巻スケールに基づいて, 被害程度や風速を的確に評価できる被害調査マニュアルの作成

京大防災研・共同研究「建物等構造要素毎の被害評価による竜巻等の突風風速推定指標の策定」(2013・4～2015・3)

日本版 Enhanced Fujita Scale の策定に向けて

- | | |
|--------|-----------------|
| 京大防災研 | 丸山 敬, 石原正仁, 林泰一 |
| 九州大学 | 前田潤滋, 友清衣利子 |
| 神戸大学 | 竹内 崇 |
| 国技政総研 | 奥田泰雄 |
| 東京工芸大学 | 松井正宏 |
| 徳島大学 | 野田 稔 |
| 日本大学 | 神田 亮 |
| 防衛大学校 | 小林文明 |

東京工芸大学風工学研究センター共同利用・共同研究「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」(2013・7～2016・3)

今後の予定

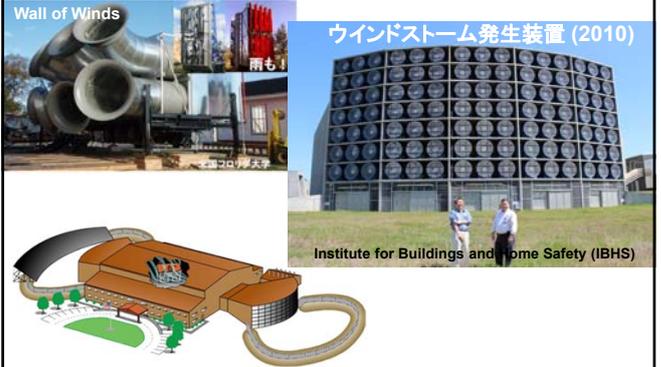
- | | |
|--------|-------------------------------|
| 京大防災研 | 丸山 敬 |
| 気象研究所 | 小司禎教, 山内 洋, 佐藤英一 |
| 気象庁 | <ご推薦による> |
| 九州大学 | 前田潤滋 |
| 建築研究所 | 河合直人, 喜々津仁密, 中川貴文, 石原 直, 荒木康弘 |
| | 奥田泰雄, 脇山善夫 |
| 国技政総研 | 鈴木 覚 |
| 森林総研 | 坂田弘安 |
| 東京工業大学 | 田村幸雄, 松井正宏, 吉田昭仁 |
| 東京工芸大学 | 植松 康, 小野裕一 |
| 東北大学 | 伊藤 優 |
| 日本設計 | 小林文明 |
| 防衛大学校 | |

国際風工学会IAWE「世界共通の竜巻スケールの提案」(2013・7~2015・10)

今後の動向

- カナダ西オンタリオ大学 Greg Kopp教授の提案(2013・4)
- WMOとの調整, 協力打診(2013・5)
- 国際風工学会IAWE内に準備WGを発足予定(2013・7)

米国におけるストーム発生装置



今後の動向

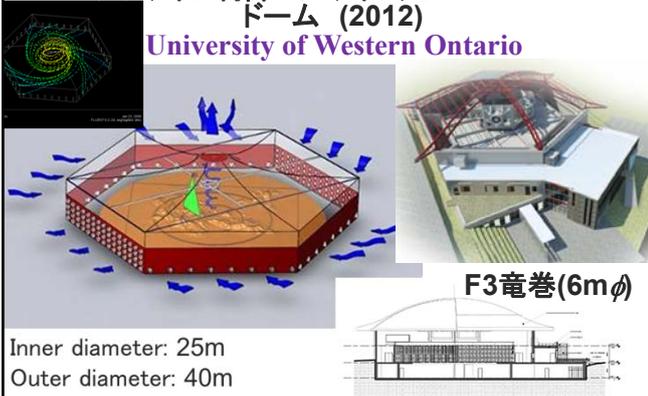
限りなく実際に近いシミュレーション
→ 精度の高いDOD評価へ向けて

日本学術会議・大型研究計画への提案(2013年3月)

実スケールストームシミュレータ(強風, 火災, 降雪, 降雨, 降雹)と気象災害サイエンスパーク



カナダ・竜巻発生装置
アクティブ制御マルチファンWindEEE
ドーム (2012)
University of Western Ontario



ご静聴有り難うございました

