生きる、を支える科学技術

防災科研
NIED

地震災害に備えるための
建物センシングとアラートシステム

地震減災実験研究部門
主幹研究員　藤原　淳

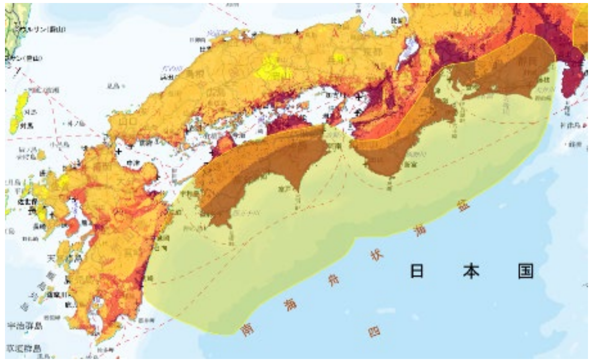
研究の背景と目的

■ 研究の背景

- 南海トラフ巨大地震や首都直下地震等の，きわめて大きな被害をもたらすと危惧される地震の発生が懸念される
- 生活と経済活動の継続の為に，建物の高耐震化と機能維持方策を進めることは不可欠
- 方策立案に必要な建物の動的特性（揺れの周期やおさまり易さ）を求める手法は確立されていない
- 地震の大きさや建物の被災状況を即時に目に見える形で伝え，避難等の行動に繋げる

■ 研究の目的

- 建物の動的特性評価と推定被災状況発信の為，センサ・アラートシステムを開発する



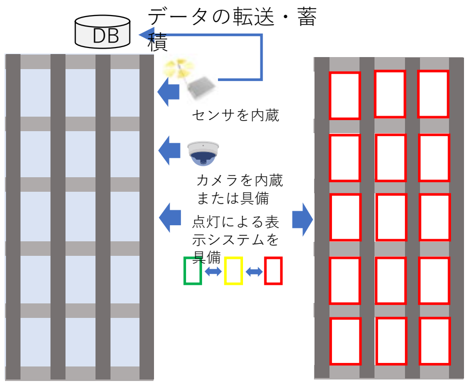
地震動予測地図

建物アラートと避難

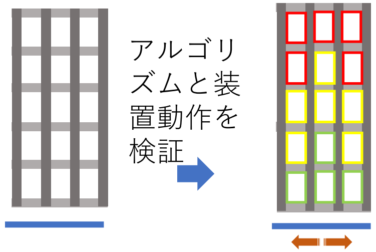
センサ・アラートシステムの概要

経済活動の生産拠点となる中層のオフィスビルを想定

中小地震による動特性同定のためのアルゴリズムと装置の検証の実験も行う



建物のカーテンウォール、窓枠など部材をセンサシステムに



中小地震による加震被災時の点灯例

揺れの大きさや被災状況を見える化する工夫を検討

民間・関連機関と共創し、業界と協調体制を構築することで社会での利活用へ

- 建物の外装材（ここではカーテンウォール）にセンサを内蔵
- センサで得た揺れのデータで建物の動的特性を評価
  - 中小地震を用いた動的特性の長期的な変化
  - 大地震時の動的特性の変化から損傷を推定
- 外装材に内蔵したLEDライトで地震の大きさや損傷度合いを表示

2017年～2021年の震度別地震回数表

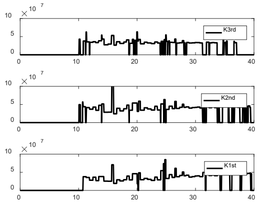
期間	震度１	震度２	震度３	震度４	震度５弱	震度５強	震度６弱	震度６強	震度７	合計
2017年	1324	519	142	32	4	4	0	0	0	2025
2018年	1379	544	178	67	7	2	1	0	1	2179
2019年	1015	391	118	31	6	0	2	1	0	1564
2020年	1138	412	119	38	6	1	0	0	0	1714
2021年	1584	605	181	44	4	5	0	1	0	2424
合計	6805	2636	779	221	28	15	3	3	1	10491

- 震度3，4の地震が年間200回程度発生（全体の約10%）
- 震度3，4の地震の揺れから建物の動的特性を評価することで，長期的な変化を捉えることが可能

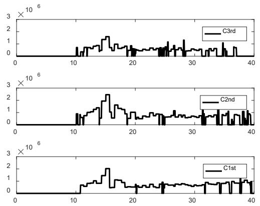
備考：気象庁　震度データベース検索：https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html

これまで実施してきた研究・実験

E-ディフェンス実験の例



剛性 K の時刻歴



減衰 C の時刻歴

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = f(t)$$

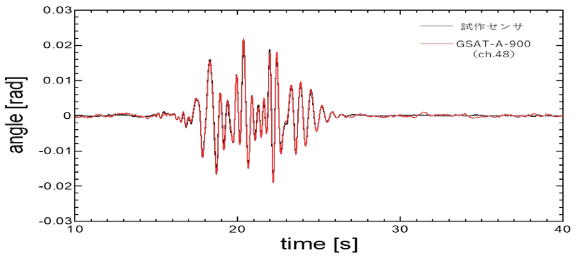
減衰Cと剛性Kを求める

過去の実験データを活用した
動的特性評価アルゴリズムの開発

カーテンウォール

試験体

変形



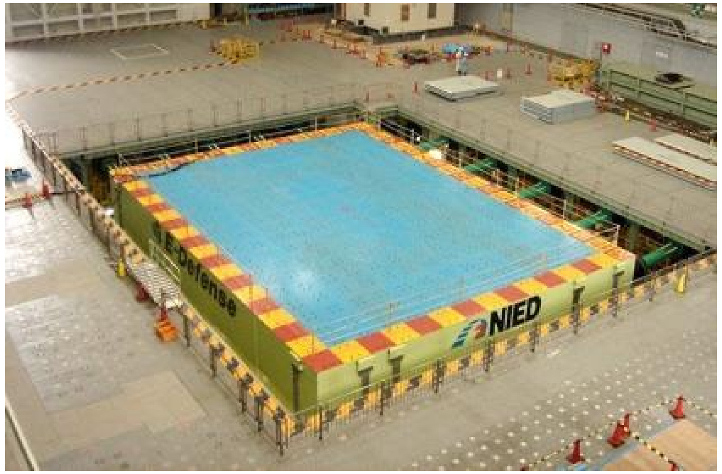
建物の揺れのデータ

カーテンウォール内蔵型
センサの単体実験

Ｅ－ディフェンスを用いた
実大実証実験

Ｅ－ディフェンスとは

- 地震等の揺れを再現する実験施設
- 世界最大級の能力
  - サイズ： 20 m×15 m
  - 搭載重量： 1200トン
  - 震度7の揺れを再現可能
- 実際の地震の揺れを実物大の建物に入力可能
  - 建物が地震によって損傷,破壊する過程を調査
  - 耐震化等の地震対策の実証



Ｅ－ディフェンス震動台

Ｅ－ディフェンスによる建物実験

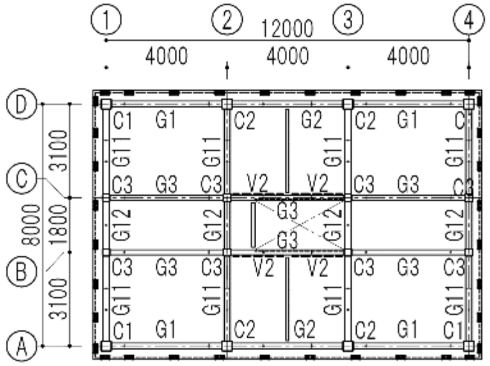
Ｅ－ディフェンスを用いた
実大実証実験

１０階建てオフィスビル建物試験体

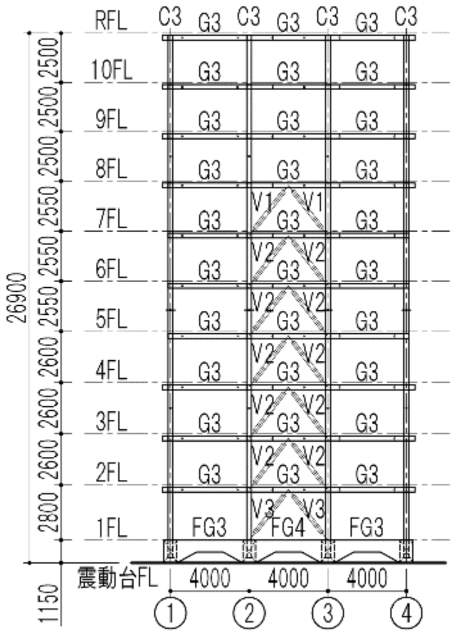
■ 寸法
- 幅12m，　奥行8m，　高さ27m
- 階数：10
- 重量：	700トン

■ 試験体の設計
- 現行の建築基準法
- 一般的なオフィスビルを想定

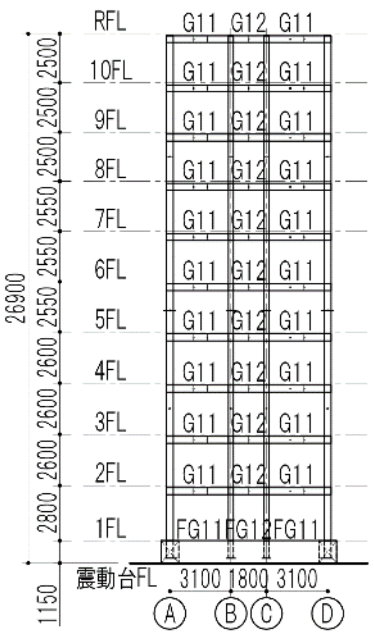
■ 試験体の構造：鉄骨造
- 長辺：筋交いあり
- 短辺：筋交いなし



平面図

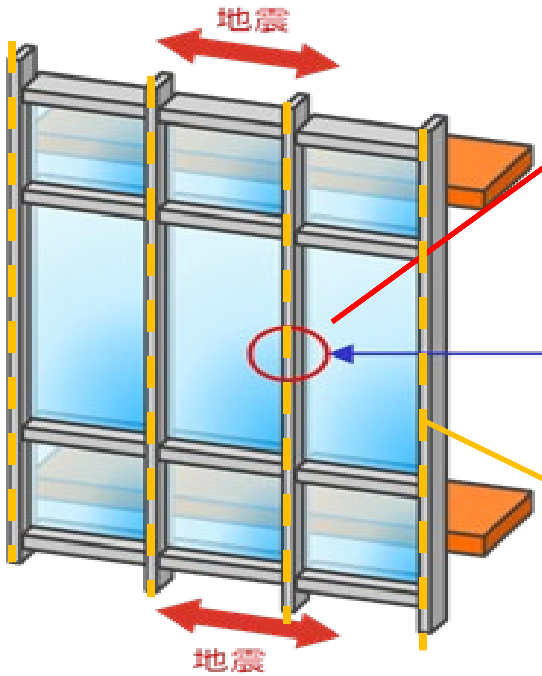


長辺方向立面図

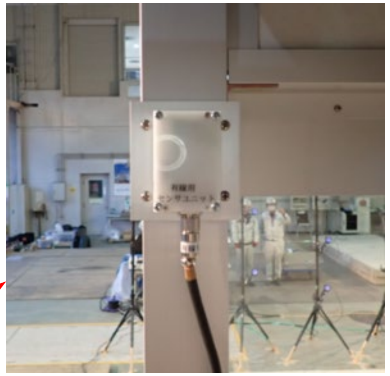


短辺方向立面図

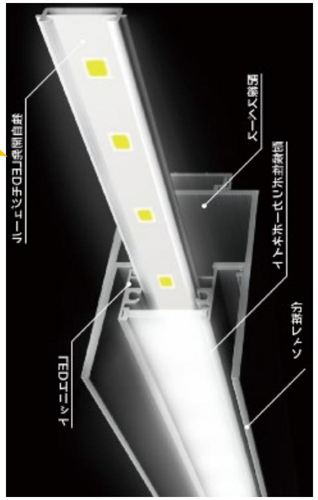
センサ・アラートシステム



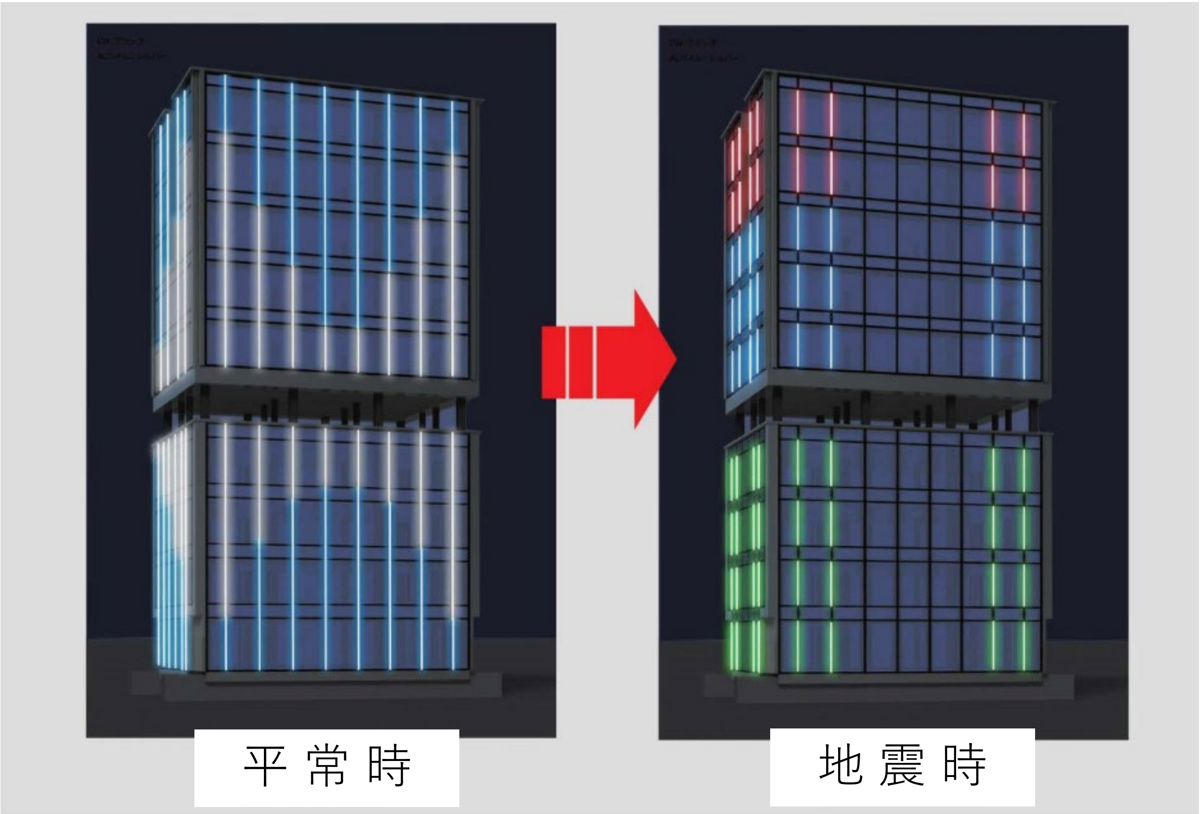
カーテンウォール



センサ



内蔵型LED



発光表示パターン

生きる、を支える科学技術
防災科研
NIED

入力する地震動

■ 加振計画方針
- 中小地震（計測震度2～4程度）による加振
- 大地震（計測震度5～）による加振
- 大地震のレベルを大きくしながら中小地震と大地震を繰り返し入力

■ 中小地震による加振
- 頻発する中小地震の揺れから建物の長期的な動的特性変化を捉える
- 周波数特性，内陸型・海溝型等をパラメータとして過去の観測地震波から選定
- 東北地方太平洋沖地震と熊本地震の余震（震度4程度）の観測データをK-NETから取得

■ 大地震による加振
- 大地震時の動的特性変化をとらえて損傷を推定
- 兵庫県南部地震（1995年）で観測された地震波による3軸同時加振
- 加振レベル：25，50，75，100％

試験体の製作

鉄骨工場製作

鉄骨の組み立て

検査

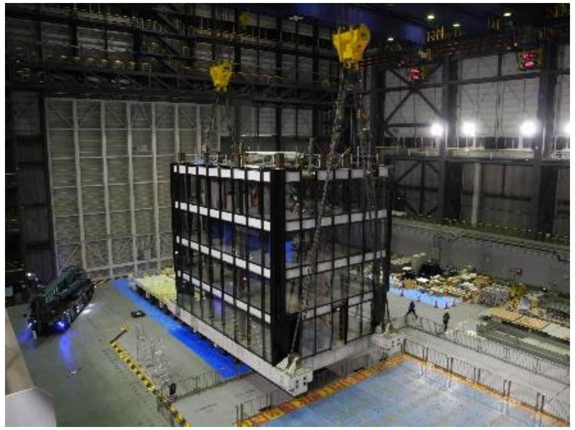
試験体骨組全体

カーテンウォール施工

設備機器等（電源幹線）

試験体の設置

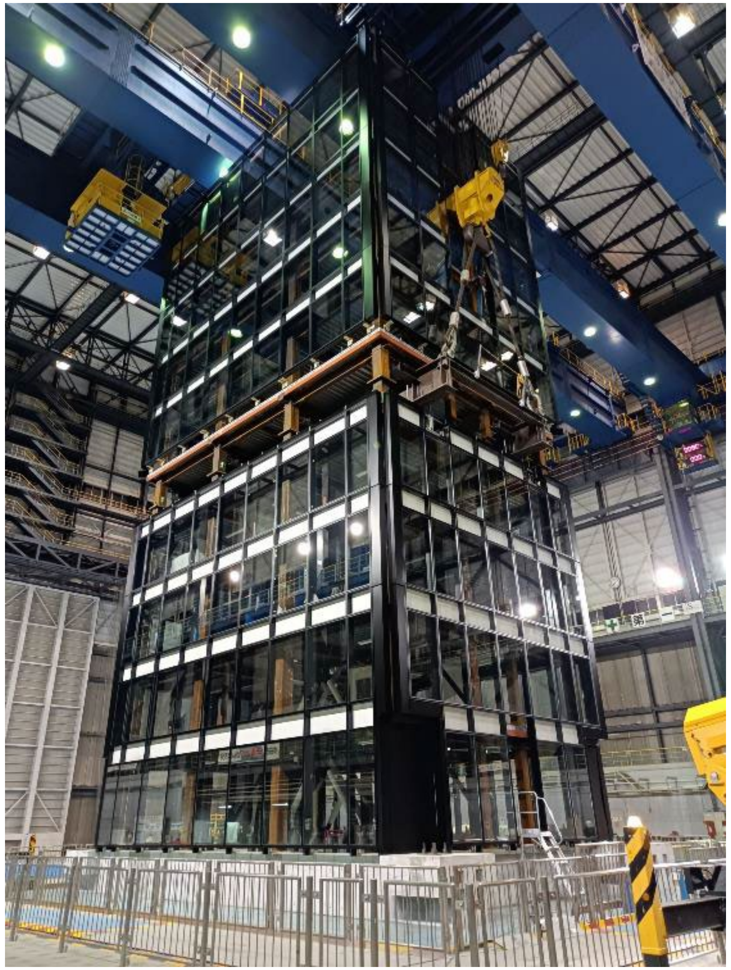
試験体の移動



下部試験体の設置

上部試験体の吊り上げ

上下試験体の一体化



実大10層オフィス試験体

余剰空間の有効活用について

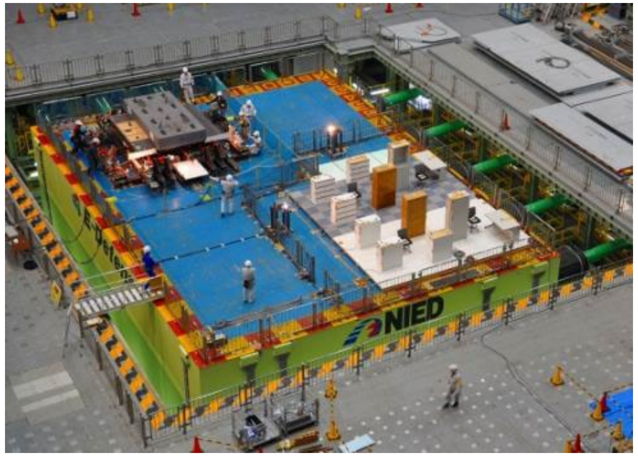
「独立行政法人の事務事業の見直しの基本方針」（平成22年12月閣議決定）
　Eディフェンスの余剰スペースの貸出しを行うことにより、試験体の余剰空間の有効な活用を図る。

余剰スペースの貸し出し形態

1. 振動台上の余剰平面の貸し出し
2. 建物試験体の余剰空間の貸し出し

過去の試験体の余剰空間の貸出例

- 2011年　免震建物実験
  什器を設置：3件
- 2015年　RC造建物実験
  センサー設置2件，防災科研
- 2018年　鉄筋コンクリート造建物実験
  センサー設置1件



震動台上の余剰空間貸出例

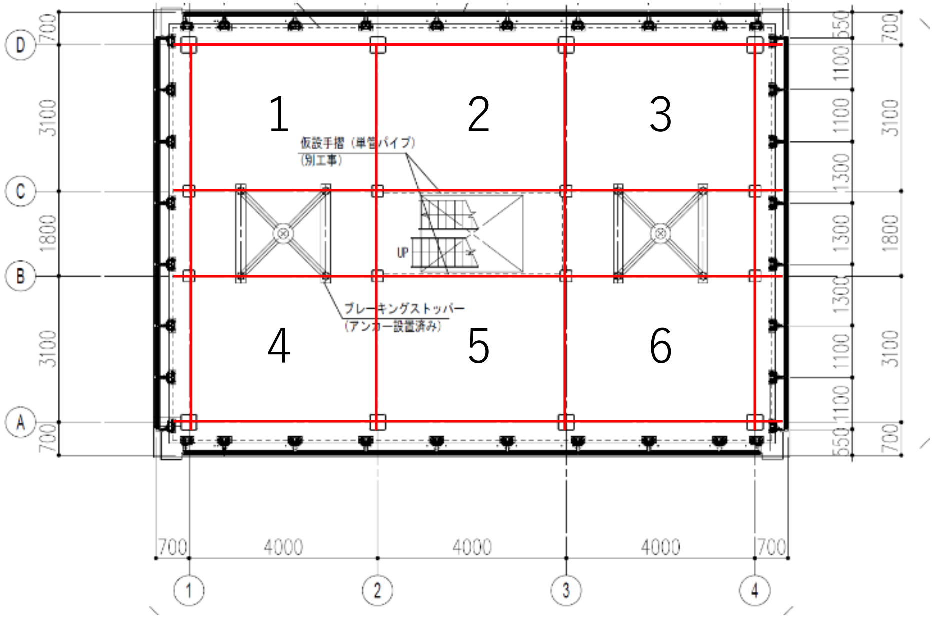
奥：余剰スペース実験
手前：防災科研の実験

試験体内の余剰空間貸出例

余剰空間の有効活用の取り組み

- 国内外の外部機関との共同研究による活用
- 外部機関に貸与（2022年11月に公募）

試験体建設状況(11月撮影)



各フロアを6分割し、余剰空間として有効に活用

生きる、を支える科学技術 防災科研 NIED

余剰空間の利活用状況

活用形態

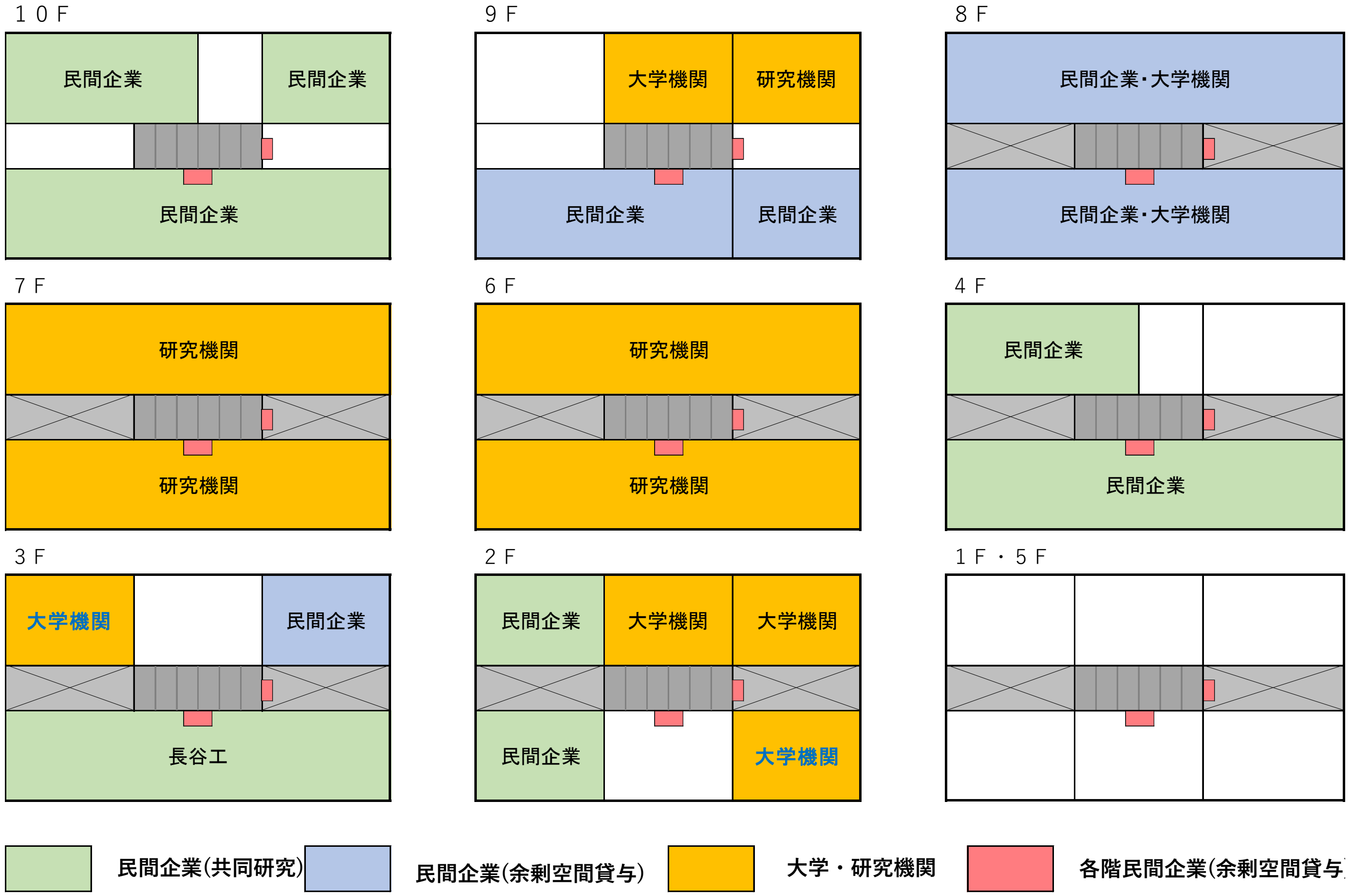
- 共同研究：3件
- 空間貸与：9件

参画機関

- 大学：　　6機関
- 研究機関：1機関
- 民間企業：10機関

利用状況

- 空間使用率：　90％



各階の利用状況

生きる、を支える科学技術

SCIENCE FOR RESILIENCE

NIED 防災科研