

ResReal公開セミナー

「危機事象と向き合う建築」

～建築・都市のレジリエンス～

芝浦工業大学 システム理工学部 環境基盤研究室 教授

一般社団法人 レジリエンス協会 副会長
日本危機管理学会 会長

増田 幸宏

yukihiro@shibaura-it.ac.jp

「VUCA」の時代

現代は「VUCA」の時代と言われる。

VUCAは、

Volatility（変動性）、Uncertainty（不確実性）、
Complexity（複雑性）、Ambiguity（曖昧性）

の頭文字をとった言葉であり、

先を見通すことが困難な現代社会を表現している。

- ✓ コントロールしきれない様々な不確実性が存在し、これまでの経験したことのないような事象が相次いで起きている現代

先を見通すことが難しい現代社会

- 災害（自然災害、人為的災害）、気候変動、政治・経済や国際情勢の状況、社会環境の変化（人口減少、少子高齢化等）、技術革新（AIやIoT等の急速な進展）等々
- 不安定で変化の激しい多様な要因が複雑に絡み合い、意思決定者がコントロールしきれない様々な不確実性が存在する。
- 個人にとっても組織にとっても、難局を乗り越えて生き残り成長を続けていくために、また社会的な役割・責任を果たし続けるためには、生活や事業の継続を脅かす危機事象と真剣に向き合うことが不可欠である。
- レジリエンスとは「厳しい環境変化を乗り越えるしなやかな力」であり、**持続可能性（Sustainability：サステナビリティ）と表裏一体**となるもの

難局を乗り越え、どのように成長/発展をしていくのか
社会的責任をどう果たしていくのか

巨大システム・人工物としての建築・都市

Built Environment
(人工空間/人工構造物)

System of Systems
(各種要素の複雑な集合体)

計画・設計, 制御, 維持・管理

危機管理

複数の要因が複雑に絡み合った課題

レジリエンスを考える際には対象をシステムとして捉えることが重要

危機事象に向き合う建築

相次ぐ自然災害（地震、気象災害、・・・）

コロナ禍（感染症）

電力需給逼迫

京都や大阪での放火事件

サイバー攻撃

ロシア・ウクライナ危機, 資源高の長期化

関連法規制強化

人手不足、若い人の業界離れ

人口減少、少子化・高齢化・・・

劣化、維持管理・保全

技術革新・陳腐化、新技術、DX・・・



建築を成り立たせていた様々な前提条件や状況が大きく変わる中で、如何にして建築の役割や機能を維持していくことができるのか

危機事象とどう向き合うか？

(不運な、一過性の、一時的な出来事として扱うのではなく、本質的な建築の性能として議論することが必要)

「非常時に建築が備えるべき必要最低限度の性能」はどうあるべきか。

組織が生き残り、
かつ社会的な役割・責任を果たし続けるためには、
事業継続を脅かす危機事象と真剣に向き合うことが不可欠

(事業継続の取り組みは、単純な災害対応計画ではない。)

危機事象 に勝つことは難しくても、
負けない組織・社会を目指すことは可能であると考えている。

「災害に強い」 から 「災害に負けない」 へ

このような社会的要請に応える建築・都市

「能力」としてのレジリエンス

- レジリエンスがシステム等の「能力」と理解されている点は共通事項
- 生存や安定を脅かす擾乱や厳しい環境変化、危機的事象と向き合わざるを得ない状況において、逆境に負けず、生き残るためのしぶとさやねばりづよさに関わる能力としてレジリエンスを捉えることが出来る。
- 危機事象（災害等）に勝つことは難しくても、**負けない**建築・都市・社会を目指すことは可能であると考えている。

「災害に強い」 から 「災害に負けない」 へ

大きな災害や事故に見舞われた時に、私たちの組織や地域社会は、いくら入念に防災対策を講じていたとしても、程度の差こそあれ**影響や被害を受けることは避けられない**。しかしながら、傷を負いながらも堪え忍び、**厳しく困難な時期を何とか乗り越え、乗り越える力**こそが、重要になる

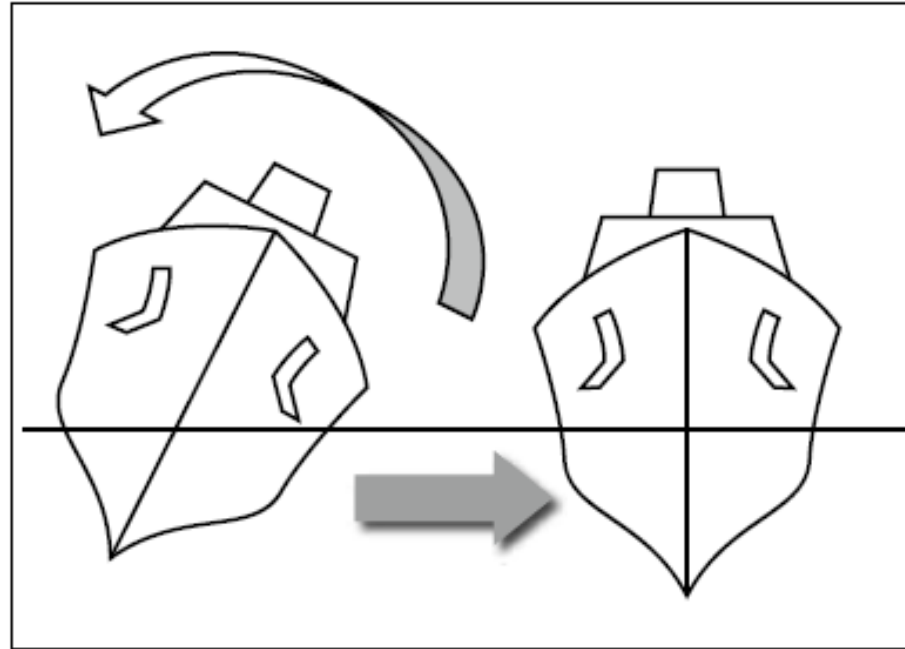


図3 船の復原力

：船が傾いても転覆せずに直立状態に戻ろうとする「復原力」が設計上の重要なポイントとなる

元の状態からはずれたときに、
如何に体制を立て直すことができるか？

図の出典：一般社団法人日本熱供給事業協会 協会誌「熱供給」連載記事より

「Resilient By Design」 「Built in Resilience」

- ◆ 巨大人工物や大規模システム、複雑システムにレジリエンスという能力を機構として予め組み込んでおくという考え方として理解
- ◆ サイバーセキュリティや大都市のインフラシステム、超高層建築物や大規模複合建築物では必須の考え方になるであろうと考えている。
- ◆ 「できる限り問題・被害が発生しないように事前に対策を行うこと」に加えて、「問題・被害が発生したらどうするかを事前に考える」ことが重要であり、発災後の対応に備えた仕組みや仕掛けを事前に整えておくことが求められる。

組織のレジリエンスとBCM, BCP

事業継続マネジメント(Business Continuity Management)

組織への潜在的な脅威, 及びそれが顕在化した場合に引き起こされる可能性がある事業活動への影響を特定し, 主要な利害関係者の利益, 組織の評判, ブランド, 及び価値創造の活動を保護する効果的な対応のための能力を備え, **組織のレジリエンスを構築するための枠組みを提供する包括的なマネジメントプロセス。**
(JIS 22301:2013)

「国土強靱化貢献団体の認証に関するガイドライン」にもとづく レジリエンス認証



オールジャパンで国土強靱化を
レジリエンス認証

認証団体：一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会

公式HP | プライバシーポリシー

内閣官房国土強靱化推進室
「国土強靱化貢献団体の認証に関するガイドライン」
にもとづく
レジリエンス認証
はじまります。

▶ レジリエンス認証とは

▶ レジリエンス認証申請される方へ

▶ 説明会セミナー情報

▶ 認証団体一覧

▶ お問い合わせ

▼ レジリエンス認証とは

1. レジリエンス認証とは

政府の内閣官房国土強靱化推進室では、国土強靱化の趣旨に賛同し、事業継続に関して認証する制度を創設するため、平成28年2月「[国土強靱化貢献団体の認証に関するガイドライン](#)」を策定し、同年3月に「[国土強靱化貢献団体の認証に関するガイドライン](#)」を公表しました。

「レジリエンス認証」は、内閣官房国土強靱化室から上記ガイドラインに規定する「レジリエンスジャパン推進協議会」が、上記ガイドラインに基づく「国土強靱化貢献団体」の認証を行うこととなります。

レジリエンス認証
事業継続

レジリエンス認証
事業継続および社会貢献

目標の策定において重要となる項目

- 事業影響度分析, BIA (Business Impact Analysis)
- 目標復旧時間, RTO (Recovery Time Objective)
- 目標復旧時点, RPO (Recovery Point Objective)

(出典 : JIS 22301:2013, JIS 22300:2013)

「BCPの早期復旧戦略」と「建物の機能維持・回復計画」 -BusinessとBuildingのContinuity

- ✓ BCPを立案する上での大きな戦略として、「早期復旧戦略」と「代替戦略」という考え方
- ✓ 「早期復旧戦略」は現地での事業継続を目指すものであり、「代替戦略」は遠隔地での代替拠点の確保や提携事業者との連携による代替生産の継続等
- ✓ 建物の機能を守ることは主に早期復旧戦略に該当
- ✓ 代替戦略は強力であり、特に大災害においては有効な戦略
- ✓ 現地でのグレードの高い建物を目指すことが、組織の事業継続力を高める上で最善の方策になるとは限らないことに注意が必要
- ✓ 建物に投資することが他の対策と比べてどの程度の比較優位性があるのかが、経営判断として厳しく評価される。
- ✓ 都市・地域として取り組むことの重要性。都市・地域の機能をどう守るのか。都市・地域の多様な便益をどう評価するのか。

■レジリエンス

◆ bouncing back, bouncing forward

◆ 元通りに戻るケース
(修理・修復)

◆ 目的を果たすために機構やシステムが変わるケース
(目的関数は同じでも実現のプロセスや仕組みが変わる)

◆ 試練を克服することで進化・深化し、適応し、成長する能力

(例) 「復旧」と「創造的復興」

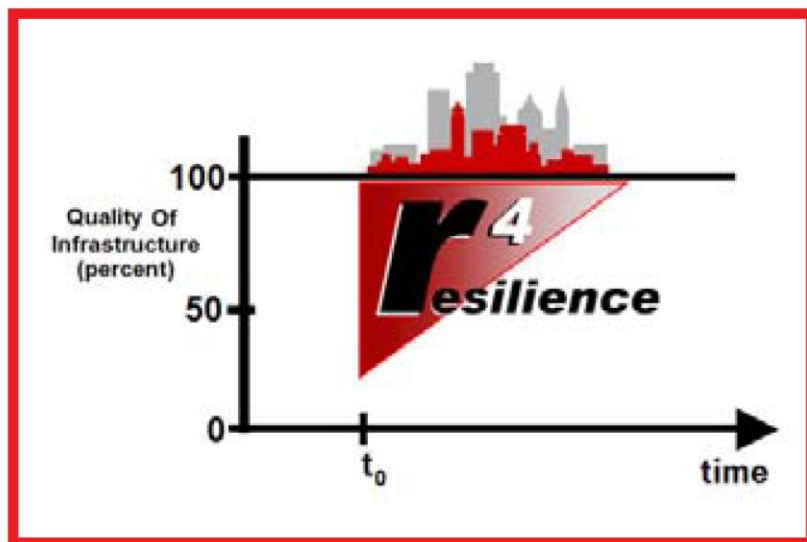


Build Back Better : 試練を乗り越えることでより強靱に

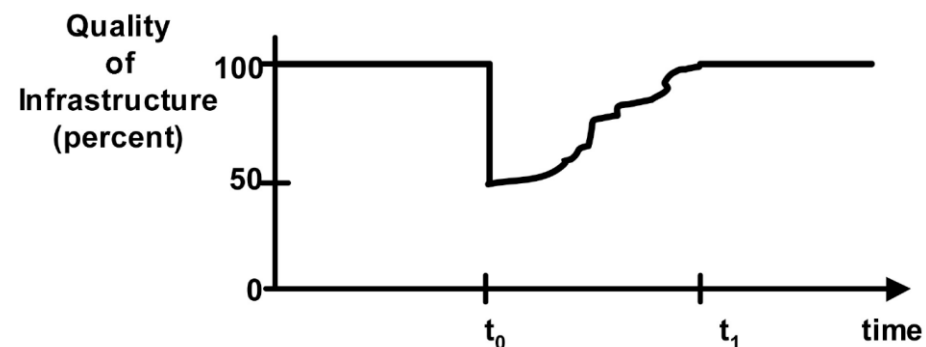
成長戦略としての
レジリエンス

“雨降って地固まる” “災い転じて福となす”

レジリエンスの評価 “レジリエンス・トライアングル”



Resilience is represented by the red triangle above. When disasters strike (t_0), damage to critical infrastructure results in diminished performance. Over time, infrastructure is restored to its original functionality. Four “Rs” - Robustness, Redundancy, Resourcefulness, and Rapidity - represent the fundamental properties of Disaster Resilience.



MCEER's Resilience Framework, http://mceer.buffalo.edu/research/resilience/Resilience_10-24-06.pdf (参照2013-6-28)

Michel Bruneau, et al. : A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities, Earthquake Spectra, Vol 19, No. 4, pp. 733-752, 2003.11

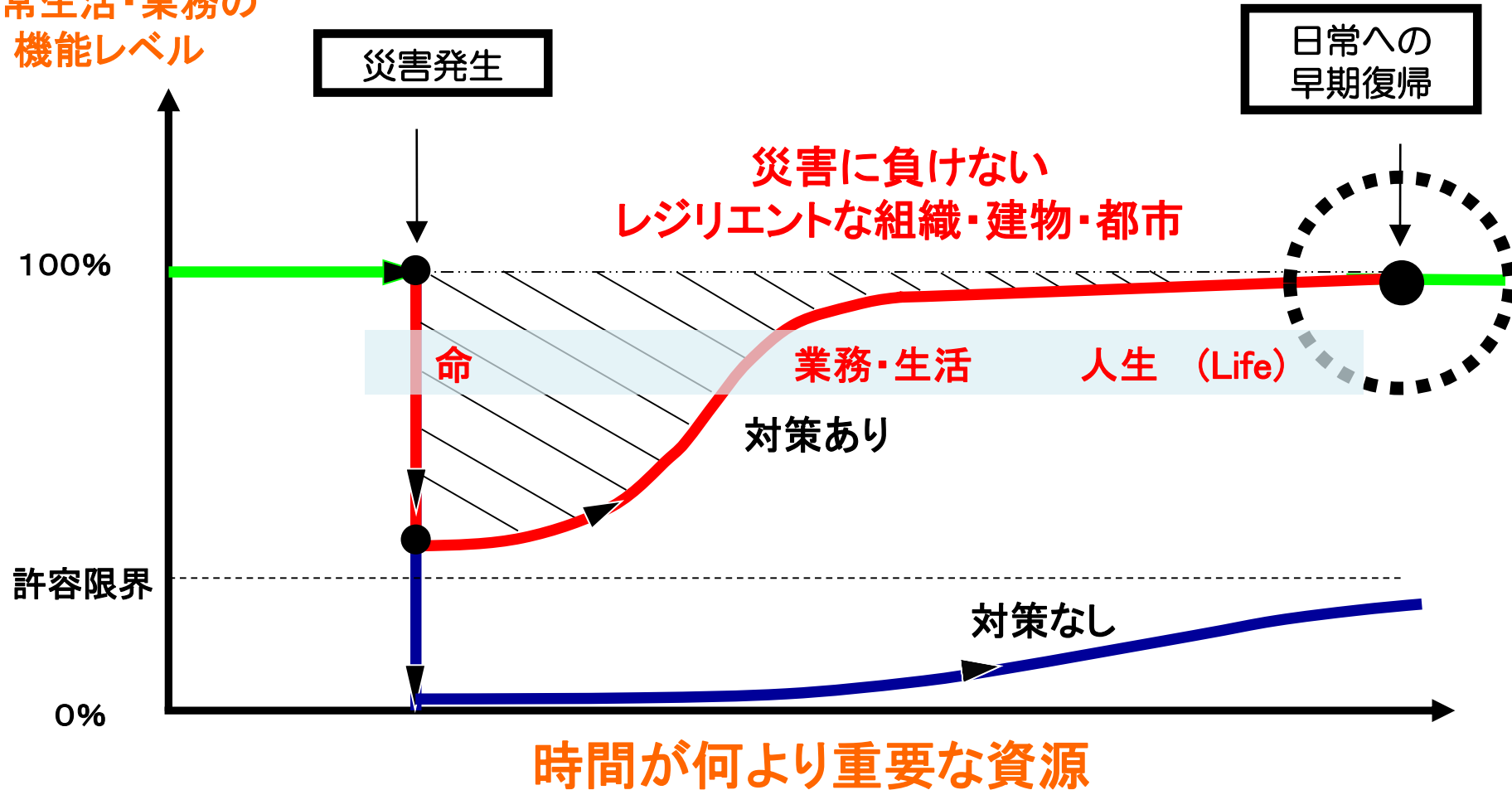
「MCEER's Resilience Framework」 Michel Bruneauらによる

- ◆ レジリエンスの特徴をReduced failure probabilities（障害の発生確率の低減）、Reduced consequences from failures（障害による影響の低減）、Reduced time to recovery（回復に要する時間の低減）を挙げている。
- ◆ レジリエンスの特性として4つの「R」（Robustness, Redundancy, Resourcefulness, Rapidity）を挙げている。

災害に対するレジリエンス

Michel Bruneau “レジリエンス・トライアングル”

日常生活・業務の
機能レベル



- ・斜線部の面積が被害の大きさを表している。
- ・レジリエントな建築・都市は被害の大きさを示す斜線部の面積が小さくなる。
- ・災害発生後は時間が何より重要な資源となる。
- ・予防力, 防御力, 抵抗力の向上に加えて, 被災後の継続力と, 被災からの回復力を備えることが重要となる。

◆ 建物のレジリエンス性能とBCPLレベルを評価する指標の必要性・重要性

建物のレジリエンスと BCPLレベル指標検討 特別調査委員会報告書

事業継続計画策定のための地震災害等に対する
建物維持・回復性能評価指標の提案に向けて

2020年3月

一般社団法人 日本建築学会
建物のレジリエンスとBCPLレベル指標検討特別調査委員会

目次

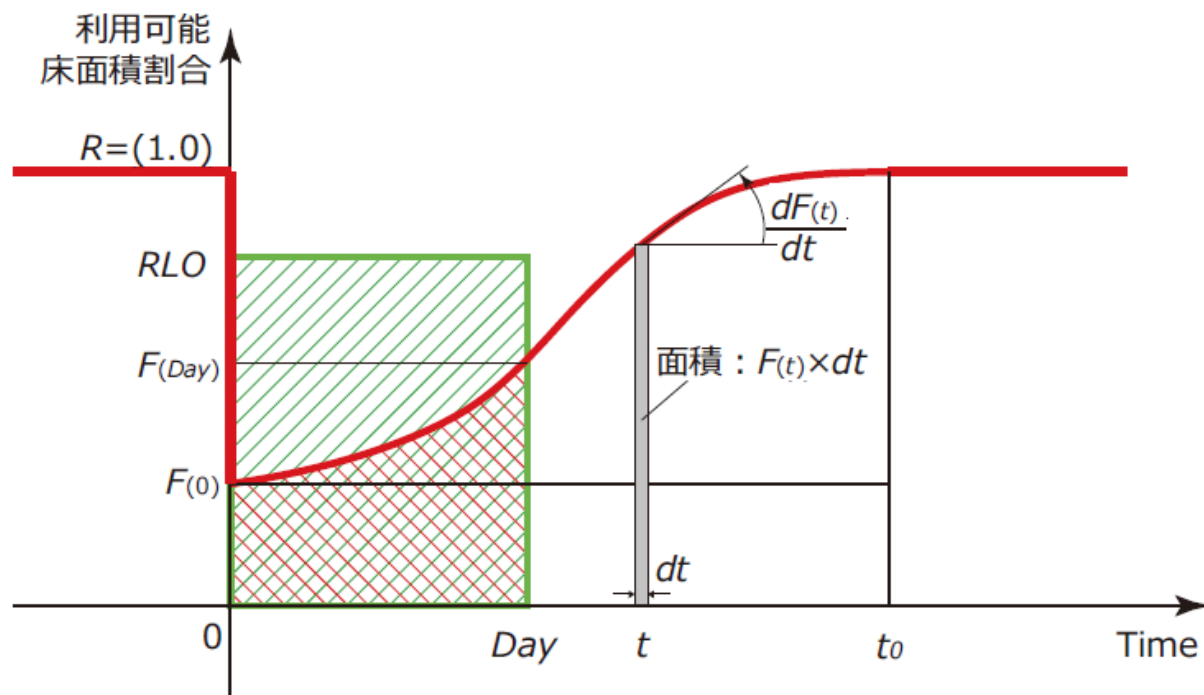
委員会活動の概要	2
1. 建物のレジリエンスとBCPLレベル指標検討特別調査委員会における調査研究の主旨 竹脇 出 (京都大学)	3
2. レジリエンスの概念と既存の評価指標 増田幸宏 (芝浦工業大学)	10
3. BCPの概念と既存の評価指標 藤谷秀雄 (神戸大学)	28
4. レジリエンス指標とBCPLレベル指標の策定 牧 紀男 (京都大学)・朝川 剛 (東京電機大学)・西本篤史 (日建設計)・ 坂本成弘 (大成建設)・奥野智久 (竹中工務店)・鳥澤一晃 (関東学院大学)・ 増田幸宏 (芝浦工業大学)・野畑有秀 (大林組)	48
5. レジリエンス向上のための構造ヘルスマモニタリングシステムの活用方法 畑田朋彦 (鹿島建設)・小檜山雅之 (慶應義塾大学)・西本篤史 (日建設計)・ 森井雄史 (清水建設)	56
6. 建物レジリエンス指標の付与例 西本篤史 (日建設計)・坂本成弘 (大成建設)・野畑有秀 (大林組)	70
7. BCP活動の普及に向けて 堀江 啓 (MS&AD インターリスク総研)・竹脇 出 (京都大学)・ 林 孝幸 (東京海上日動リスクコンサルティング)・鳥澤一晃 (関東学院大学)	81
8. 2019年度大会パネルディスカッションの記録 森井雄史 (清水建設)・小檜山雅之 (慶應義塾大学)	95
9. レジリエンスやBCPLに関する既往の取り組みの紹介	
9.1 鹿島建設の取り組みの紹介 鳥澤一晃 (関東学院大学)	108
9.2 大成建設の取り組みの紹介 坂本成弘 (大成建設)	111
9.3 大林組の取り組みの紹介 野畑有秀 (大林組)	119
9.4 竹中工務店の取り組みの紹介 奥野智久 (竹中工務店)	128
9.5 清水建設の取り組みの紹介 森井雄史 (清水建設)	131
9.6 日建設計の取り組みの紹介 西本篤史 (日建設計)	134
9.7 災害復旧サービス・ベルフォアジャパンの取り組みの紹介 林 孝幸 (東京海上日動リスクコンサルティング)	140



出典 : <https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200309.pdf>

建物のレジリエンスとBCPLレベル指標検討特別調査委員会報告書：事業継続計画策定のための地震災害等に対する建物維持・回復性能評価指標の提案に向けて
一般社団法人日本建築学会 建物のレジリエンスとBCPLレベル指標検討特別調査委員会
2020年3月 <https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200309.pdf>


建物のレジリエンス性能の定量化の考え方

建物のレジリエンス性能の評価方法の考え方を下図に示します。建物のレジリエンス性能を「ある期間までの建物の復旧度（利用可能な床面積等）」と定義して定量的評価を行います。評価結果は、例えば、「7日90%レジリエンス性能」のように表示されます。



ある期間(=Day)と、目標レジリエンス比(=RLO)を定めた場合に、その期間までのレジリエンス性能は、
 /  となり、右式で表せる。

 = $(RLO \times R) \times Day$

 = $\int_0^{Day} F(t)dt$

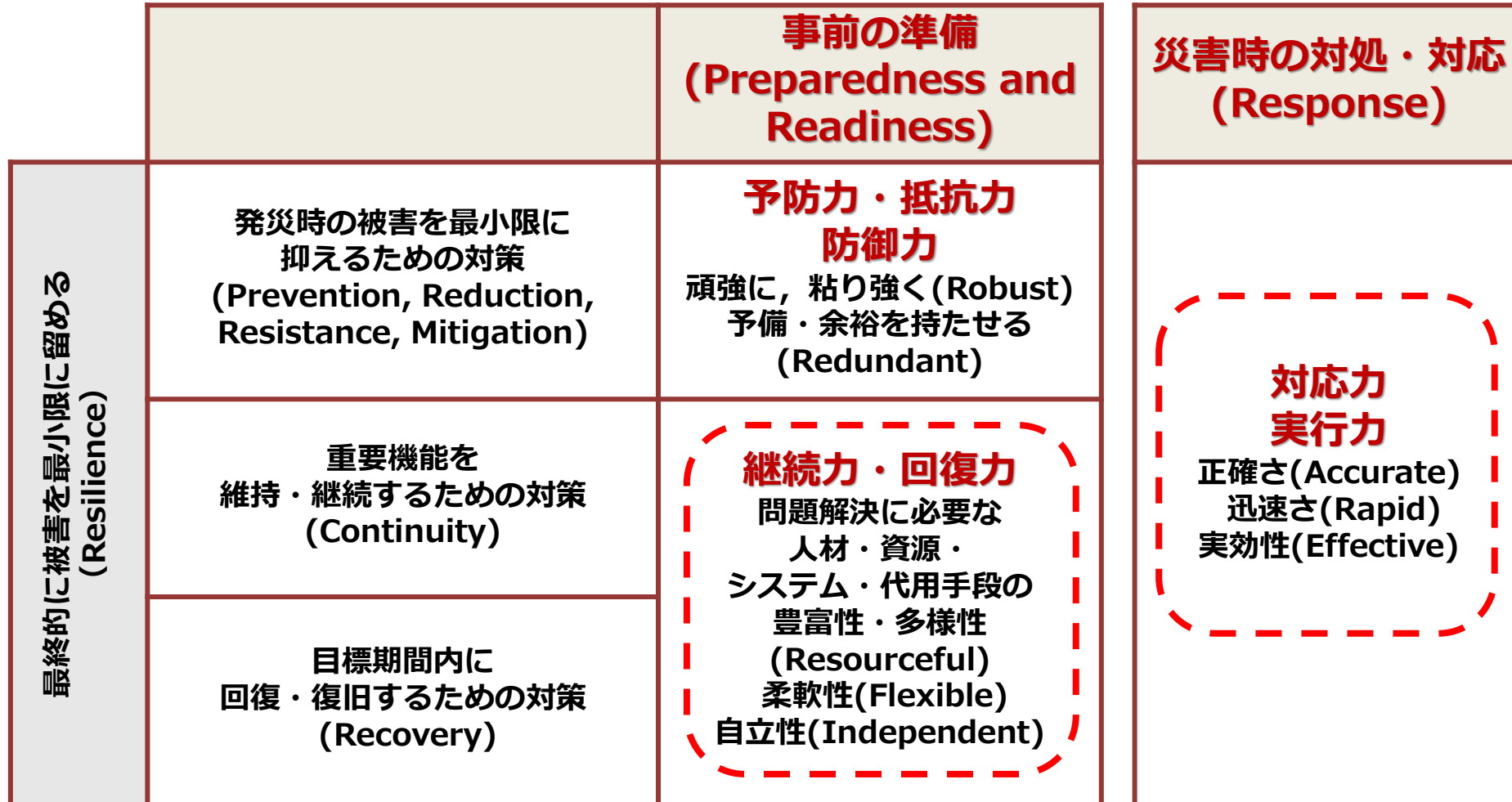
(Day)日(RLO)%レジリエンス性能：

$$R_{Day}^{RLO} = \frac{\int_0^{Day} F(t)dt}{(RLO \times R) \times Day}$$

「災害に対するレジリエンス」 評価の枠組み (例)

時間の流れ

発災



BCP*策定上の課題

*組織のBCPを実行するための「建物の機能維持計画」
経営と建築

【1】計画・設計の観点から

- **設計の目標水準と許容限界を明確にする**
 - 非常時に許容可能な環境基準（温熱環境、空気環境、光環境）の策定
 - 重要業務空間の用途・場所・優先度とそこで求められるサービスレベルの明確化
 - 目標復旧時間や目標復旧レベル
 - OPR（コミッションング）との整合性

- **建物の必要最小限の要求性能を見極める**
 - 災害時に求められる建物の必要最小限の要求性能の見極め
 - 設計時点での過剰な備蓄や 過大な仕様（オーバースペック）の抑止
 - 運用実績に応じた負荷の見直し

- **設備系統・設備計画を考慮した重要業務空間の配置や建築空間のゾーニング**
 - 設備系統（垂直方向で同じ系統を共有する）とゾーニングの関係
 - 室/空間単位で、状況を把握し、サービスレベルを確認
 - BCPの視点からの計画・設計への反映事項

- **費用対効果の検証、合理的な投資額の評価など**

BCP*策定上の課題

*組織のBCPを実行するための「建物の機能維持計画」
経営と建築

【2】運用の観点から

- 発災後に設備システムの被災状況とその影響度を的確に把握し、適切に対応
 - 発災後の早い段階で、何が起きたのか、現状はどうなっているのか、状況を正確に把握することが重要
 - 重要空間のサービスレベルの状況、機能不全の原因・影響範囲、機能継続と早期復旧の方策を適切に判断することが重要

- リソース（エネルギーと水）の管理能力を高める
 - 発災後に限られた資源で重要機能を維持
 - 発災後の負荷を時間の経過に応じて動的に把握（ダイナミックBCP）
 - 水槽の水量貯留量（残量）や非常用発電機の燃料貯留量（残量）、水道供給圧力等、通常監視の対象ではない重要項目の検討
 - 建物の部分使用、サービスを制限した使用の可能性

- 現場での危機対応を担える人材養成（権限と責務を明確化）とマネジメント体制の構築
 - 発災後の建物の臨時的運用・オペレーションのあり方
 - 建物の規模や複雑性、重要性が増すほど、当初のマニュアルに記載の無い状況や想定外の事態、専門性に基づく高度な判断と意思決定が求められる場合の検討（現在の防災センターは原則火災対応の拠点）

まとめにかえて

- ✓ 不確実性の高い社会においては、災害時や非常時においても、建物としての役割やサービスを如何に維持・継続できるのか、危機事象へ備えることが建築の本質的な性能として大切になる。“被災を前提とした、負けない戦い方”
- ✓ 平常時と非常時をシームレスに考慮し、ライフサイクルで建物をマネジメントするための仕組みと仕掛けが必要になる。長いライフサイクルの中では、災害等の非常事態や当初の設定条件から外れた状況に遭遇することは避けられないという視座でものを考えていくことが重要である。
- ✓ レジリエンスはシステムとして発揮される総合力である。ソフト的な要素とハード的な要素の統合、建築領域と土木領域の横断的な議論、また計画、設計、運用、維持管理、応急対応、臨時的運用等を一体として議論することが重要となる。
- ✓ 建築が建物使用者に対して如何に良質のサービスを提供できるのかという、ステークホルダの視点を大事にした議論が重要であり、「建物の安全・安心の見える化」による価値創出が、今後の関係者の活躍領域であり、重要な役割になる。