

# 都市ガス供給システムにおける 地震時供給停止判断の性能評価

東邦ガス(株) (前 岐阜大学大学院)

森山 達哉

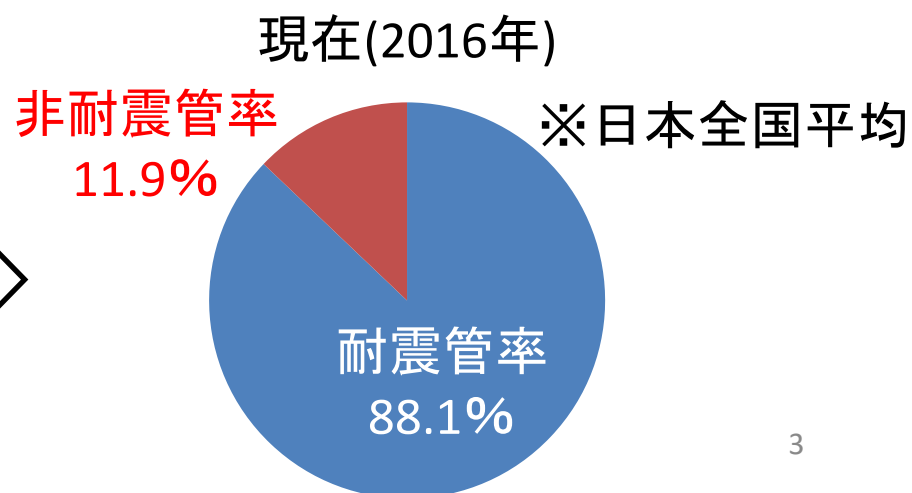
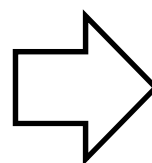
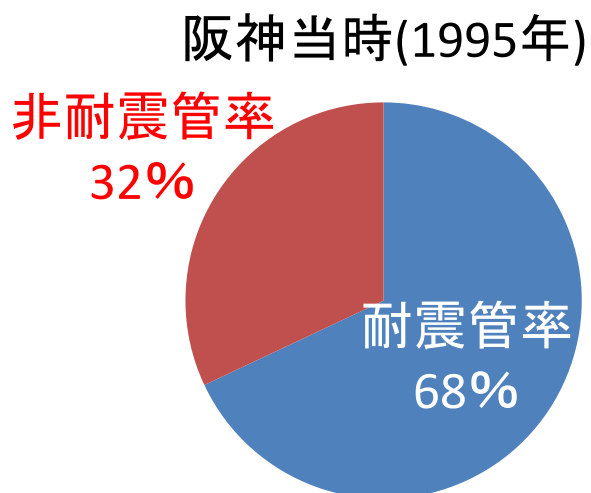
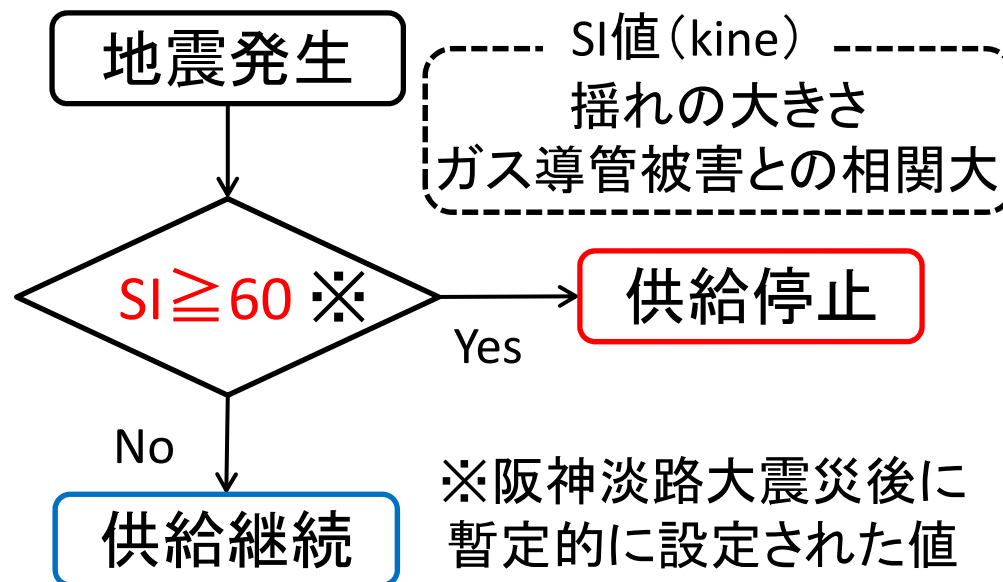
# 発表の流れ

---

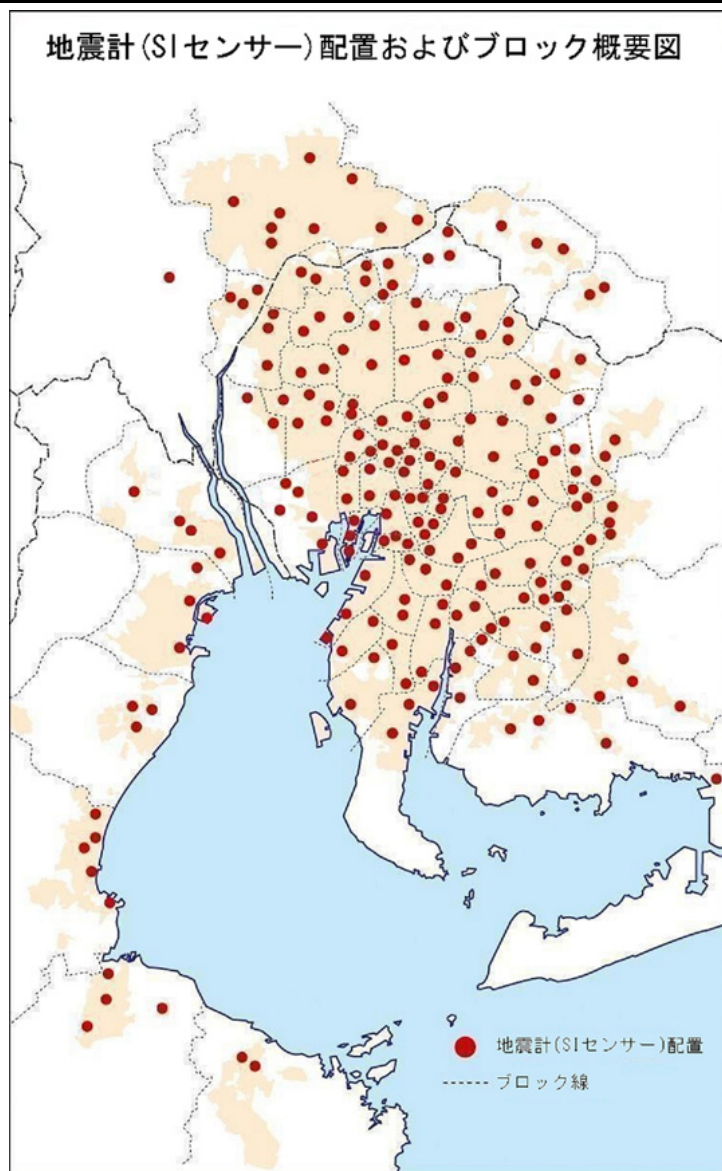
- 背景と目的
  - 都市ガスの緊急停止判断と現状
  - k-out-of-n遮断システム
- 検討内容
  - シミュレーションによるSI観測値と被害率の設定
  - ガス導管被害率 $r$ を基準とした遮断基準値 $SI^*$ と供給停止割合の関係の検証
  - 適切な遮断基準値 $SI^*$ の検討
  - 耐震管率に応じた適切な遮断基準値 $SI^*$
  - ROC曲線による遮断システムの性能評価
- まとめと今後の課題

# 都市ガスの緊急停止判断と現状

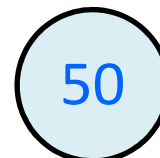
	供給継続	供給停止
被害 大	× 2次災害	○
被害 小	○	× 無駄な停止



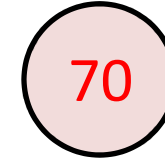
# k-out-of-n遮断システム



SIセンサーが1つの場合

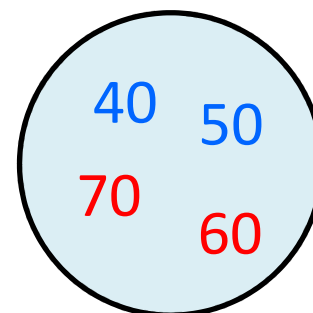


供給継続

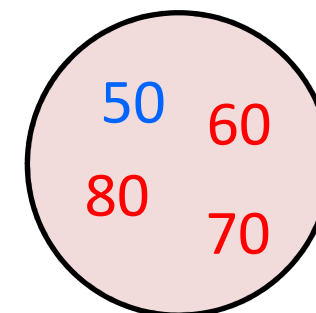


供給停止

SIセンサーが複数の場合  
(k=3, n=4の場合)



供給継続

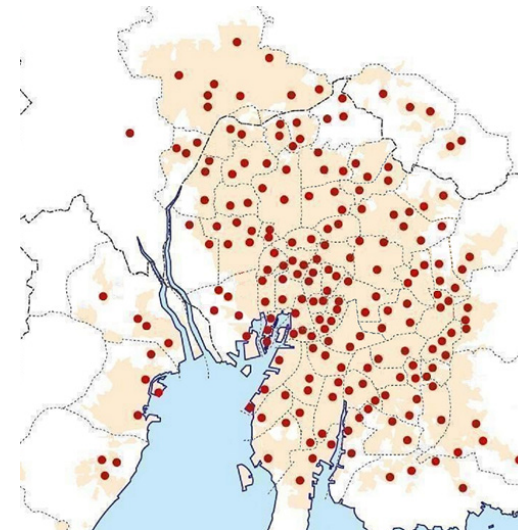
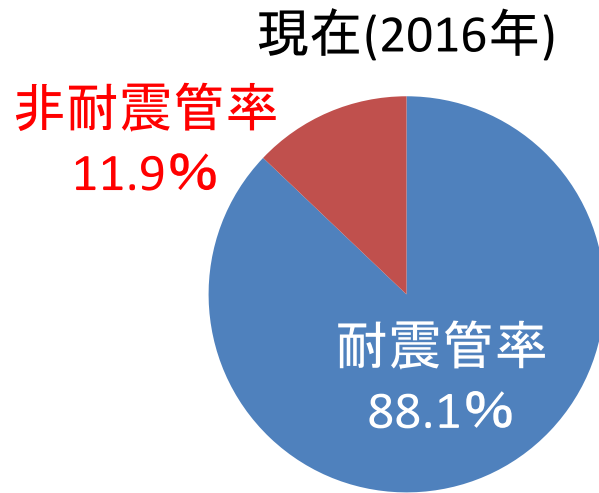


供給停止

東邦ガスHPより引用

<http://www.tohogas.co.jp/approach/safety/emergency/emergency-07/>

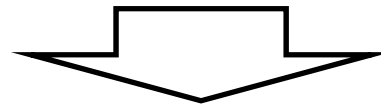
# 背景と目的



ガス導管の高耐震化

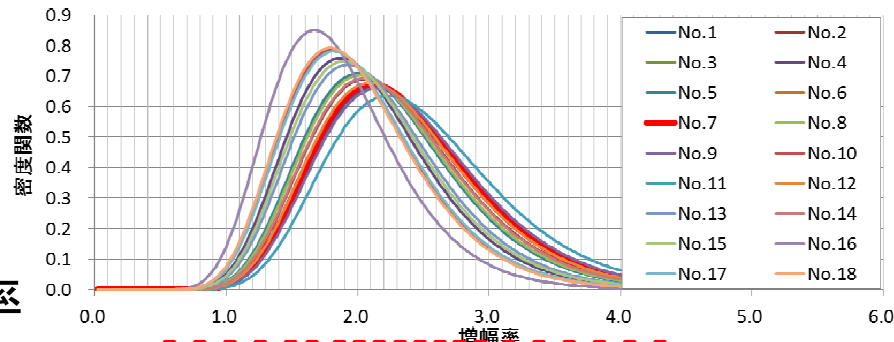
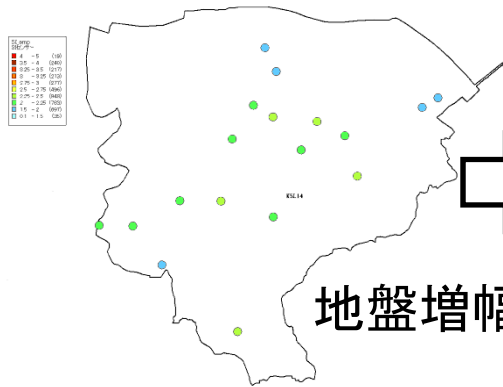
複数のSIセンサ

現状を反映した分析が行われていない



k-out-of-n遮断システムの性能評価  
被害と遮断基準値SI\*、観測SI値の関係性を明らかにする

# シミュレーションによるSI観測値と被害率の設定

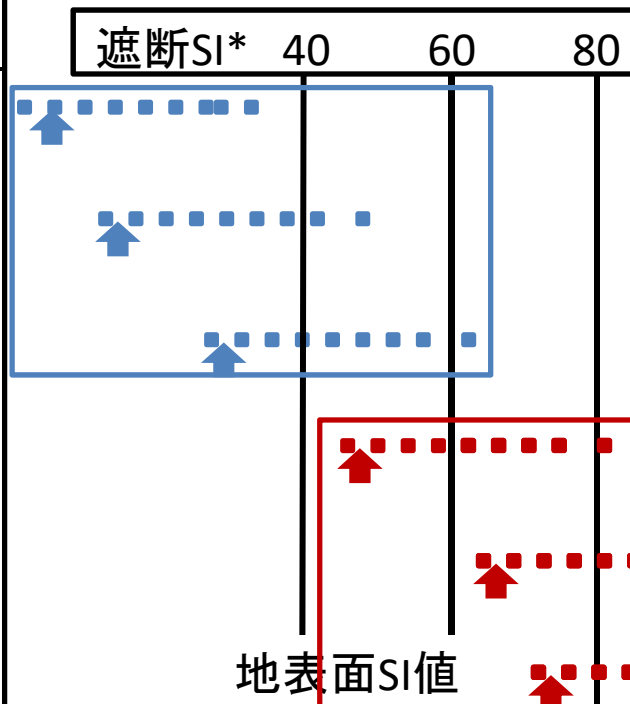


観測点ごとの揺れやすさ



$SI_B = 5 \sim 100$  kine  
の範囲を  
 $N=10000$   
で分割

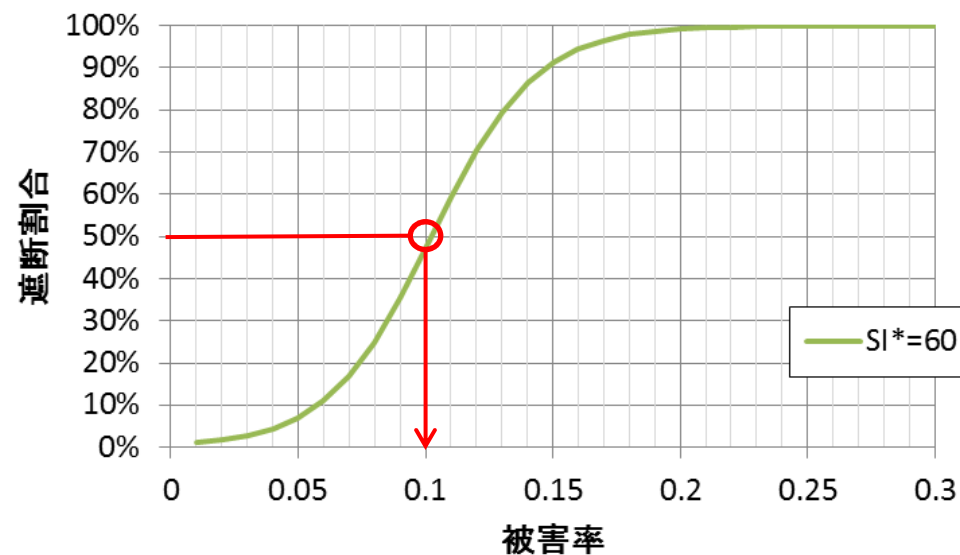
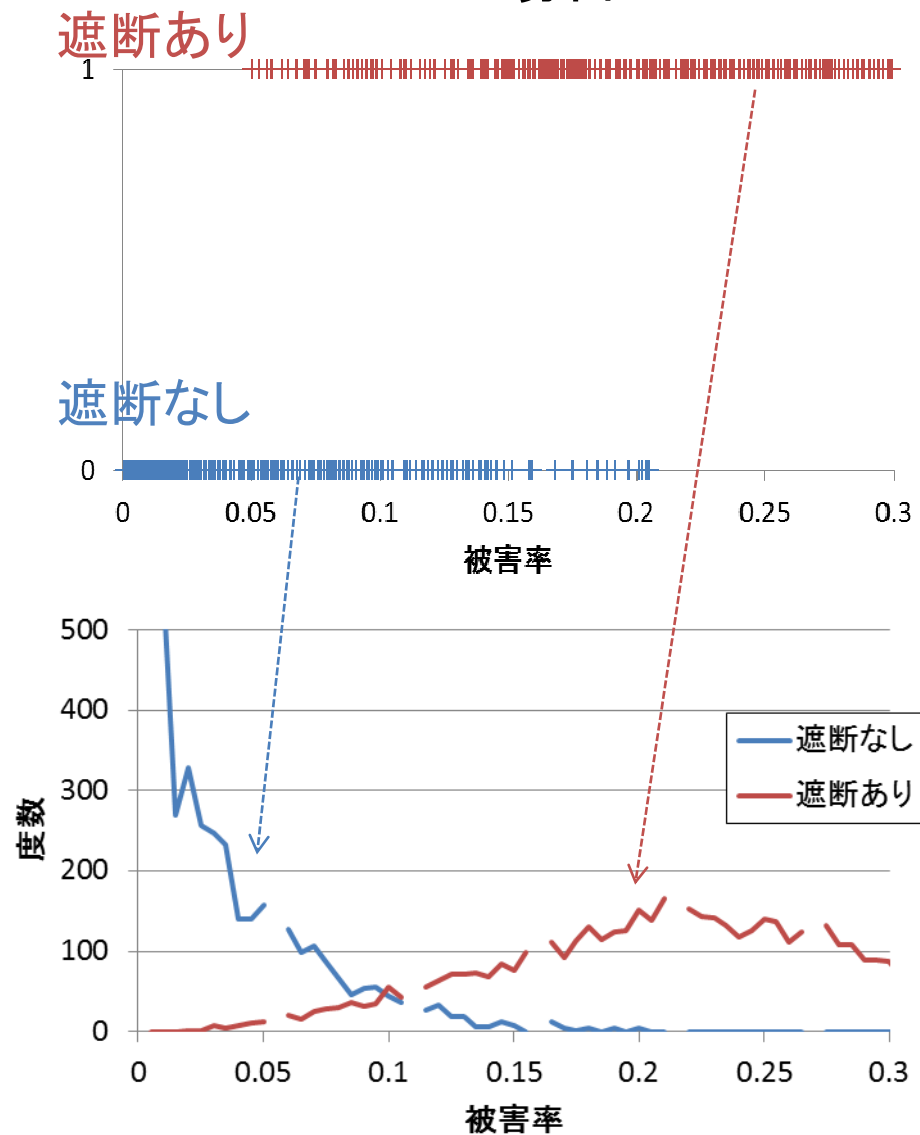
i	基盤SI値 $SI_B$ [kine]
1	5
⋮	⋮
⋮	20
⋮	⋮
⋮	40
⋮	⋮
⋮	60
⋮	⋮
⋮	80
⋮	⋮
10000	100



遮断SI* [kine]			被害率 (箇所/km)
40	60	80	
×	×	×	0.00
⋮	⋮	⋮	⋮
×	×	×	0.02
⋮	⋮	⋮	⋮
○	×	×	0.15
⋮	⋮	⋮	⋮
○	○	×	0.22
⋮	⋮	⋮	⋮
○	○	○	0.26
⋮	⋮	⋮	⋮
○	○	○	0.27

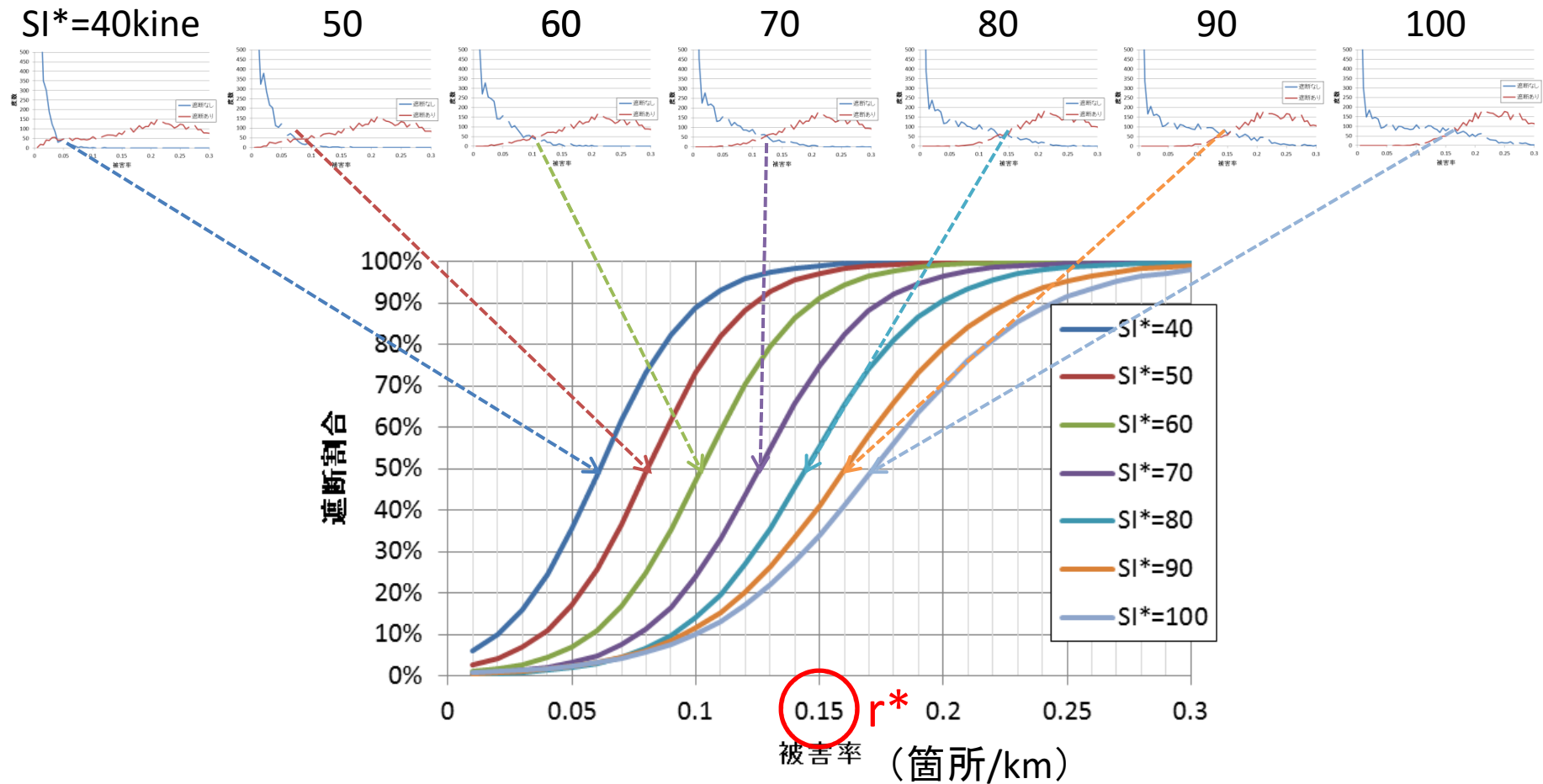
# 被害率と供給停止割合の関係

SI\*=60kineの場合



被害率とブロック遮断割合の関係

# 遮断基準値SI\*が供給停止割合に与える影響



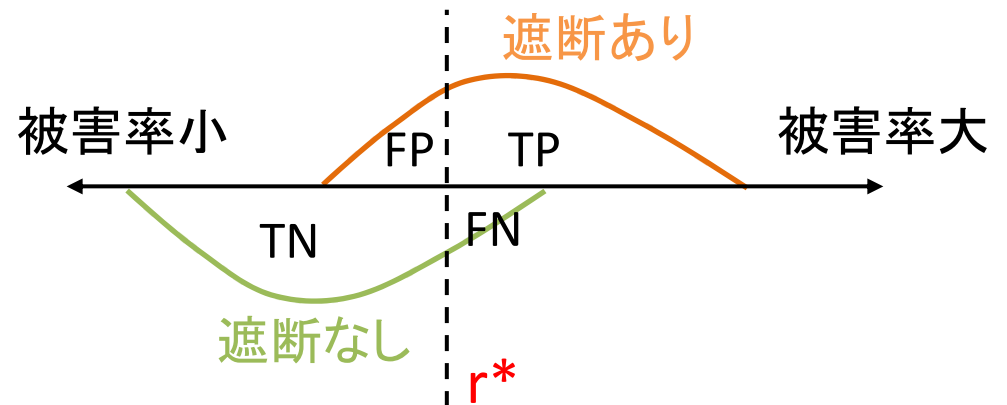
9-out-of-18遮断システムとした場合の  
ブロック遮断特性



# 分割表に基づく評価指標(1)

供給停止判断のための分割表

		供給停止判断		計
		継続	停止	
事実	管路被害 大	FN	TP	TP+FN
	管路被害 小	TN	FP	TN+FP
計		TN+FN	TP+FP	



True Positive (TP) 被害が大きい場合に供給遮断

False Negative (FN) 被害が大きい場合に供給継続

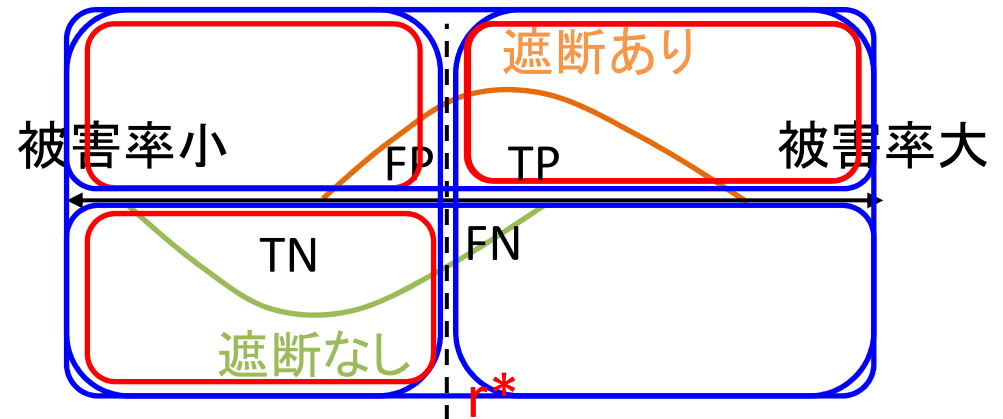
True Negative (TN) 被害が小さい場合に供給継続

False Positive (FP) 被害が小さい場合に供給遮断

# 分割表に基づく評価指標(2)

供給停止判断のための分割表

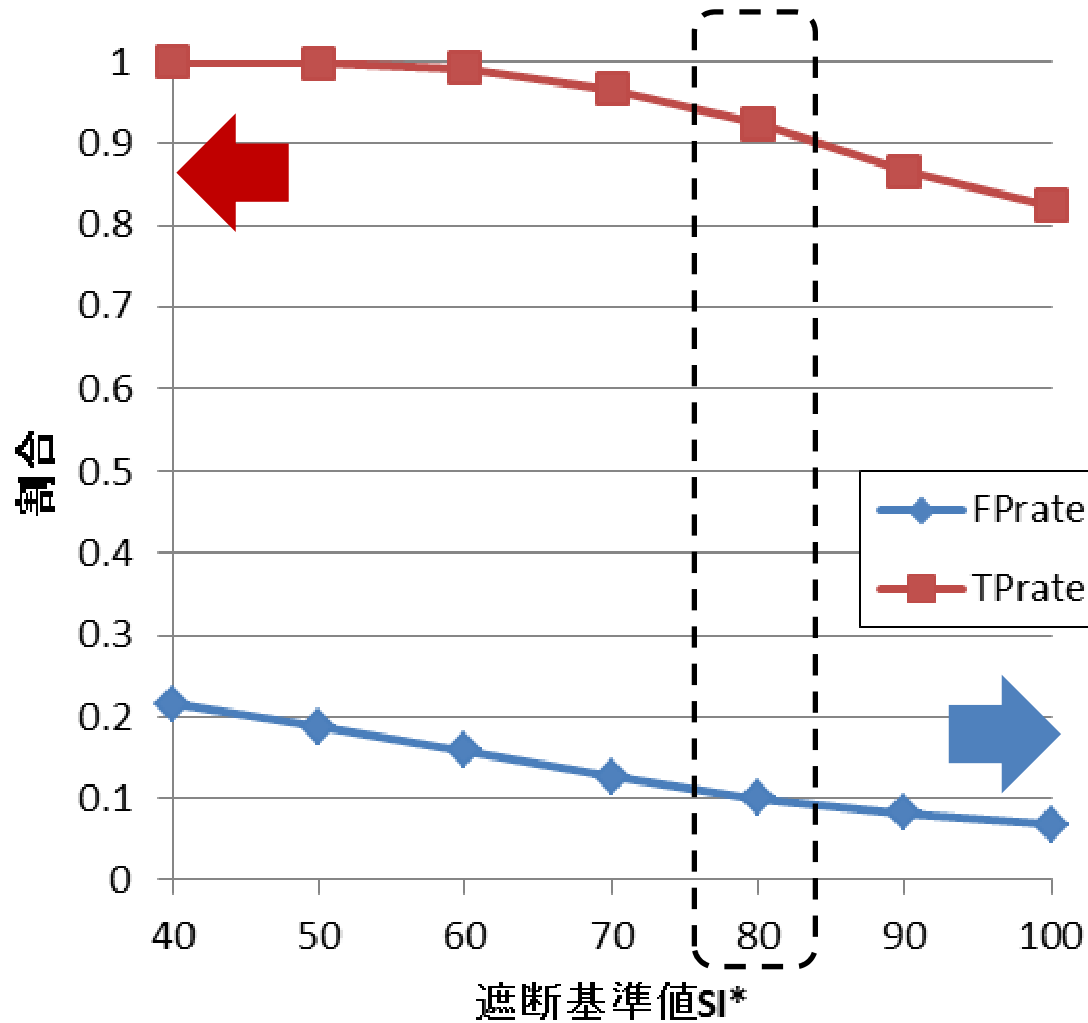
		供給停止判断		計
		継続	停止	
事実	管路被害大	FN	TP	TP+FN
	管路被害小	TN	FP	TN+FP
計		TN+FN	TP+FP	T



感度 (TP rate) True Positive	$\frac{TP}{TP + FN}$	被害率が基準より大きい ( $r > r^*$ ) 場合に遮断をした割合
偽陽性率 (FP rate) False Positive	$\frac{FP}{FP + TN}$	被害率が基準より小さい ( $r < r^*$ ) 場合に遮断した割合
陽性的中度 (PP value) Positive predictive	$\frac{TP}{TP + FP}$	遮断した場合に, 被害率が基準より大きくなっている ( $r > r^*$ ) 割合
陰性的中度 (NP value) Negative predictive	$\frac{TN}{TN + FN}$	遮断しなかった場合に, 被害率が基準より小さくなっている ( $r < r^*$ ) 割合

# 遮断基準値SI\*の最適化(1)

$r^*=0.15$  (箇所/km)



TP rate

(True Positive rate)

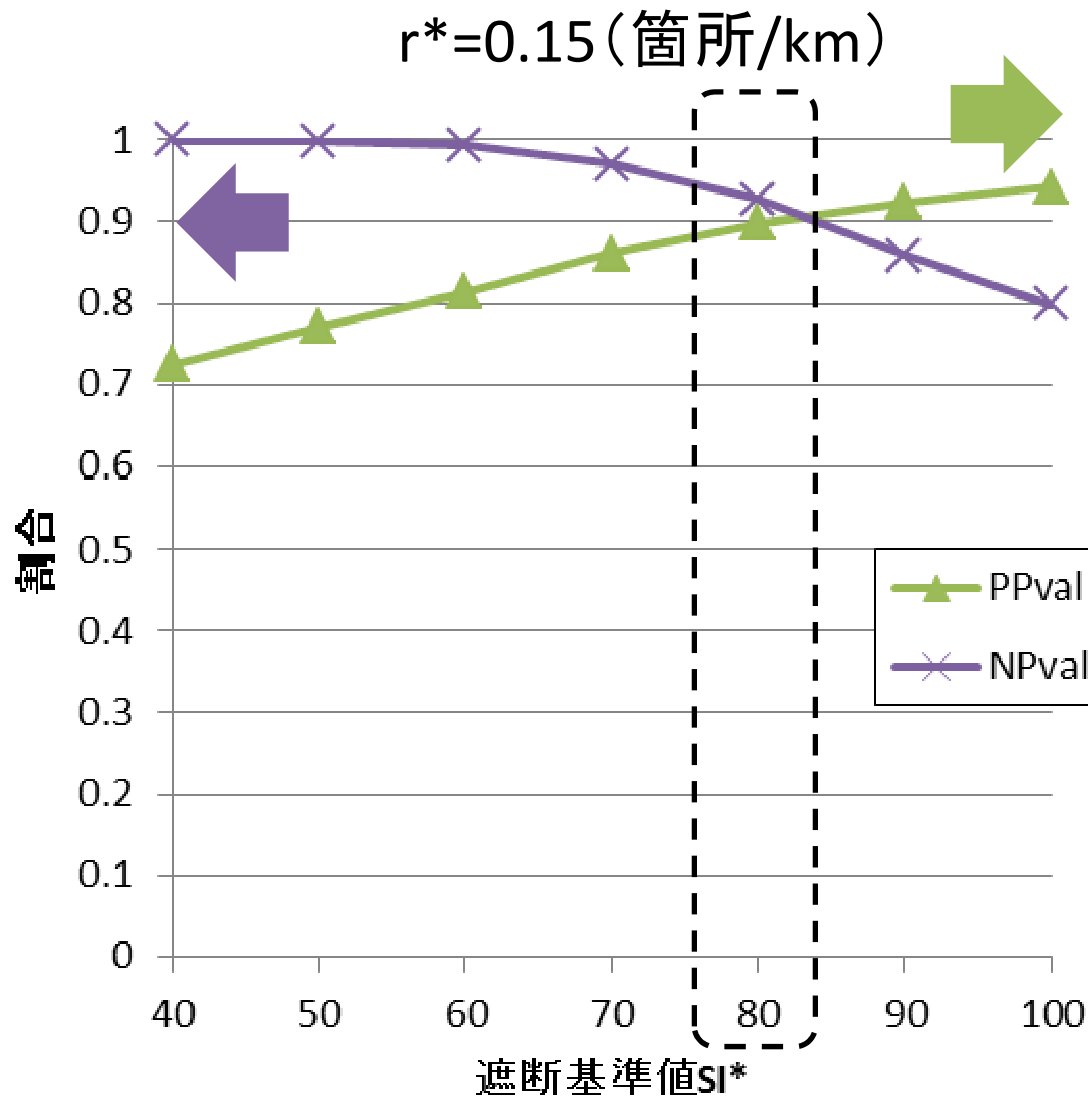
被害率が基準より大きい( $r > r^*$ )  
場合に、遮断をした割合  
⇒適切な遮断の割合

FP rate

(False Positive rate)

被害率が基準より小さい( $r < r^*$ )  
場合に、遮断した割合  
⇒不要な遮断の割合

# 遮断基準値SI\*の最適化(2)



PP value

(Positive Predictive value)

遮断した場合に、  
被害率が基準より大きくなって  
いる( $r > r^*$ )割合

⇒適切な遮断の割合

NP value

(Negative Predictive  
value)

遮断しなかった場合に、  
被害率が基準より小さくなって  
いる( $r < r^*$ )割合

⇒適切な遮断の割合

# 耐震管率に応じた適切な遮断基準値SI\*

遮断基準値

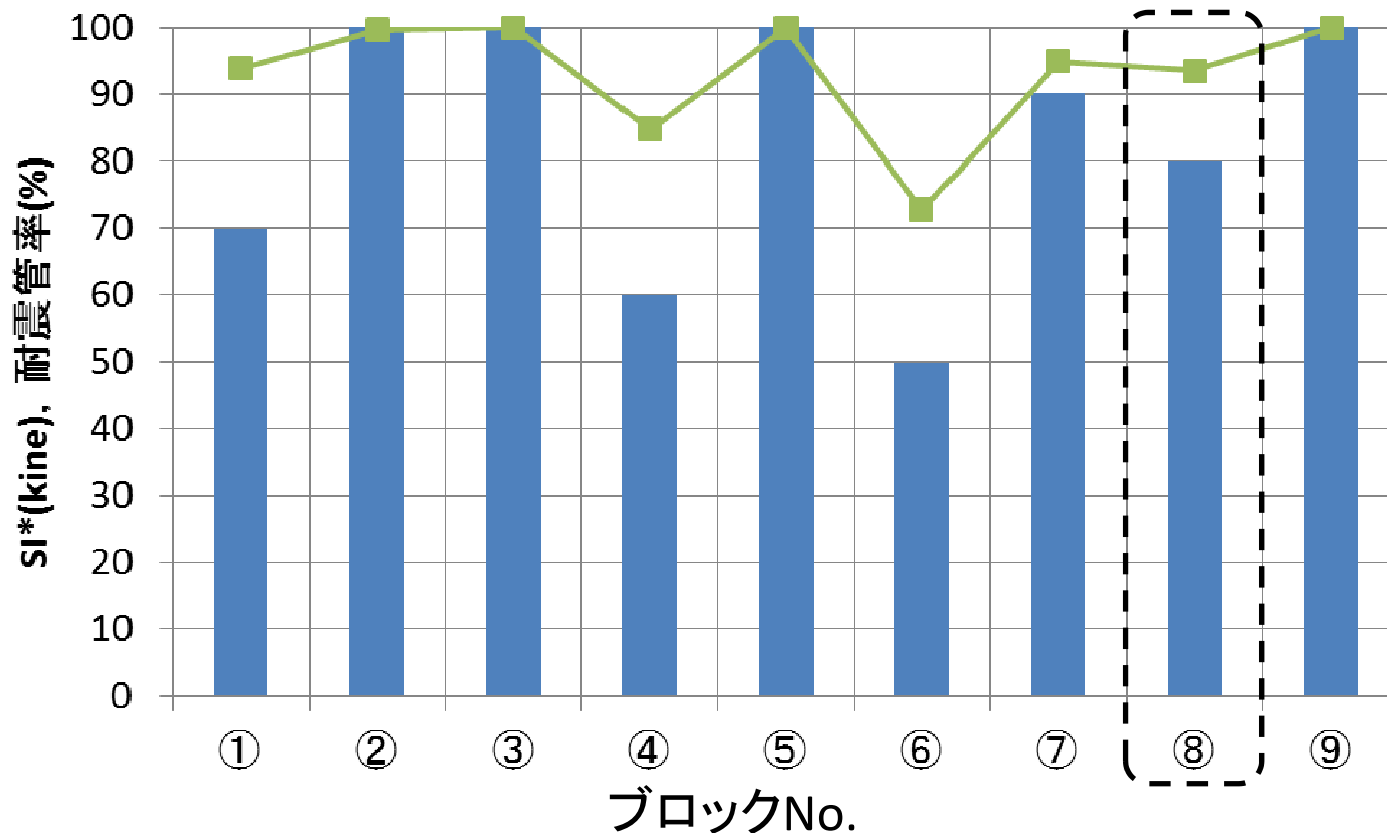
耐震管率

SI\*  
高  
↑  
↓  
低

高  
↑  
↓  
低

$r^*=0.15$

■ SI\*( $r^*=0.15$ ) ■ 耐震管率



ブロックごとに適切な遮断基準値SI\*が異なる  
耐震管率に応じて遮断基準値SI\*の設定が可能

# ROC曲線による遮断システムの性能評価

- ROC(Receiver Operating Characteristic)曲線: 受信者動作特性曲線
- AUC(Area under the curve): 曲線化面積

性能 高

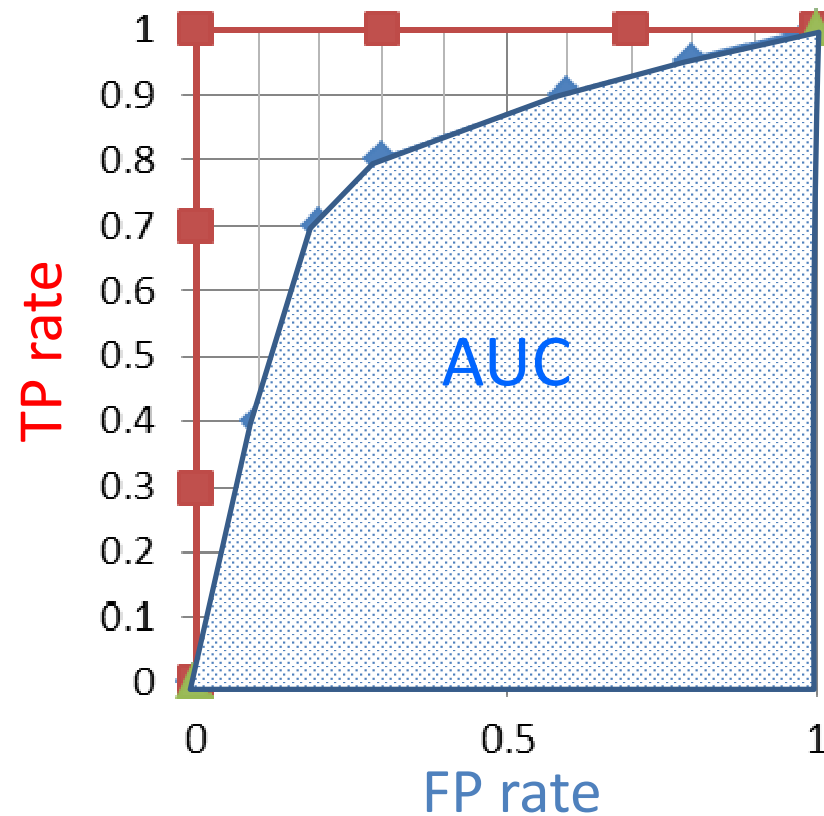
赤線

TP rate=1, FP rate=0  
⇒ 完全な分類ができている  
AUC=1.0

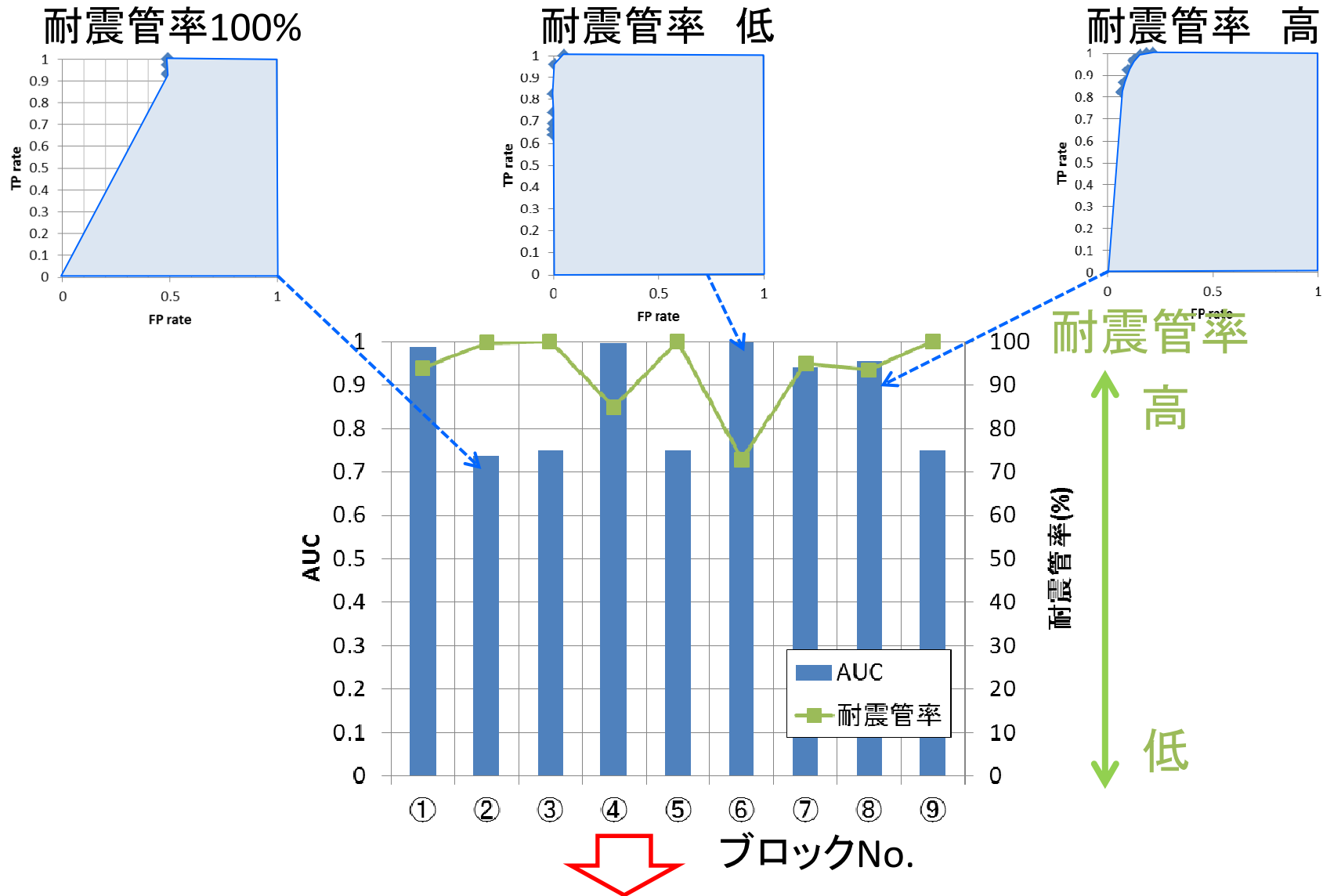
緑線

TP rate=FP rate  
⇒ 分類器の性能が0  
AUC=0.5

性能 低



# 各ブロックのAUCと耐震管率の関係 ( $r^*=0.15$ )



**k-out-of-n遮断システムの判別性能が高い**

# まとめ

---

- ブロックごとに適切な遮断基準値 $SI^*$ が異なる
  - 耐震管率に応じて遮断基準値 $SI^*$ を決めることが有効
  - 高耐震管率のブロックにおける遮断基準値 $SI^*$ 引き上げの妥当性を確認した
- k-out-of-n遮断システムの判別性能が高い

# 今後の課題

---

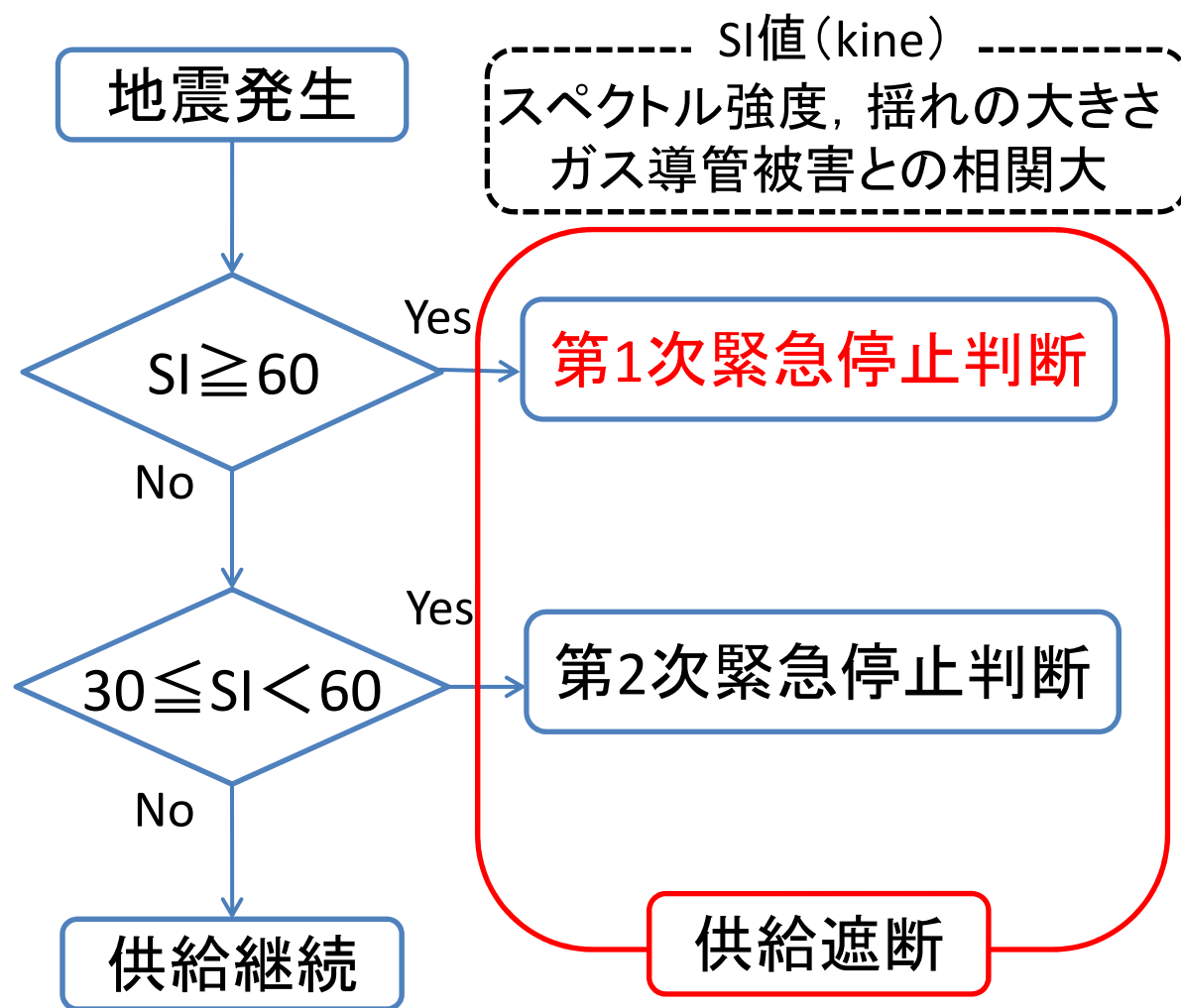
- 実際の地震時には、データ欠損の可能性があるため、kを固定化することは困難(nに対する比率で規定?)



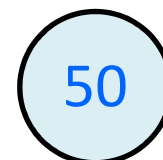


# 都市ガスの緊急停止判断

都市ガス供給システムでは  
安全性と信頼性のバランスが取れた供給停止が重要！



SIセンサーが1つの場合



供給継続

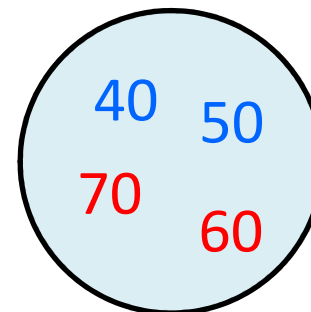


供給停止

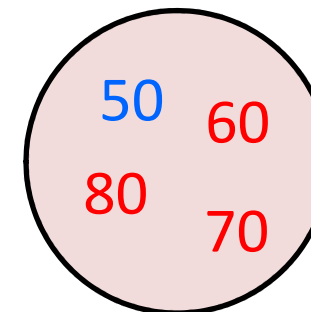
SIセンサーが複数の場合

**k-out-of-n遮断システム**

(k=3, n=4の場合)



供給継続



供給停止

## 4. 過去の地震被害との比較

※供給区域内(各地区)で震度5弱以上を  
観測した事業者を対象に集計

		阪神・淡路 大震災	中越地震	中越沖地震	東日本大震災 (津波被害含む)	熊本地震※1
発生日		1995年1月17日	2004年10月23日	2007年7月16日	2011年3月11日	2016年4月16日
地震規模		震度7, M7.2	震度7, M6.8	震度6強, M6.8	震度7, M9.0	震度7, M7.3
供給停止戸数		約85.7万戸	約5.7万戸	約3.4万戸	約46.3万戸	約10.1万戸
復旧日数		94日	39日	42日	54日(36日)	15日
中 庄	被害 箇所	106箇所	6箇所	27箇所	5箇所	0箇所
	継手破損				17箇所	9箇所
	継手緩み					
対象延長		約5,000km	約330km	135km	12,549km	1,647km
被害率		約2箇所/百km	約2箇所/百km	約20箇所/百km	約0.2箇所/ /百km	約0.5箇所/ /百km
低 圧 本 支 管	被害箇所	5,223箇所	148箇所	166箇所	774箇所	79箇所
	対象延長	約37,000km	約4,000km	約5,000km	82,936km	12,689km
被害率		約14箇所/百km	約4箇所/百km	約3箇所/百km	約0.9箇所/ /百km	約0.6箇所/ /百km
(参考) 低圧本支管耐震化 率の全国平均値		68% (大阪ガス耐震化率)	73.5% (全国平均・JGA概算)	76.6% (全国平均・JGA概算)	80.1% (全国平均・JGA概算)	85.9%※2 (全国平均・個者詳細) 2014年12月時点

0.14

0.04

0.03

0.009

0.006

※1 西部ガスの被害のみ集計。震度5弱以上を観測した事業者の被害確認中(被害があった場合、被害箇所数を追加)

※2 西部ガス熊本支社の耐震化率:85.6%(2014年12月時点)

# 供給停止判断の現状

## ○複数のSIセンサがある供給ブロックが多い

- ・k-out-of-n遮断システム
- ・運用方法は様々である

## ○ガス導管の耐震化が進んでいる

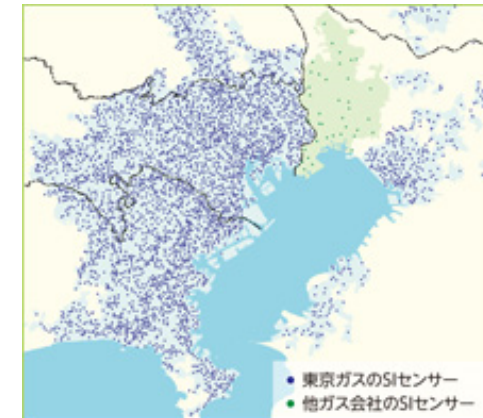
- ・ガス導管, 建物の耐震性が高いブロックでは基準値を80kineに緩和が認められている(耐震化率90%以上)

✓システム論的な分析が行われていない

⇒ 供給停止判断の**合理化と高度化**

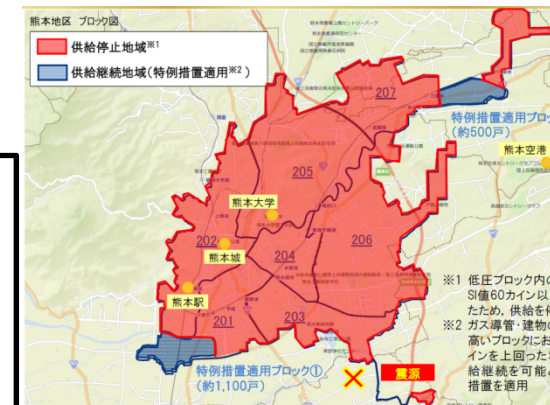
## 研究内容

- ・シミュレーションによるSI観測値と被害率 $r$ の設定
- ・ガス導管被害率 $r$ を基準とした遮断基準値 $SI^*$ と供給停止割合の関係の検証
- ・適切な遮断基準値 $SI^*$ の検討
- ・分割表を用いた遮断システムの性能評価



東京ガスHPより引用

<http://www.tokyo-gas.co.jp/encyclopedia/dictionary/dictionary156.php>



平成28年熊本地震における都市ガス事業者の初動・復旧対応状況より引用

# まとめ

---

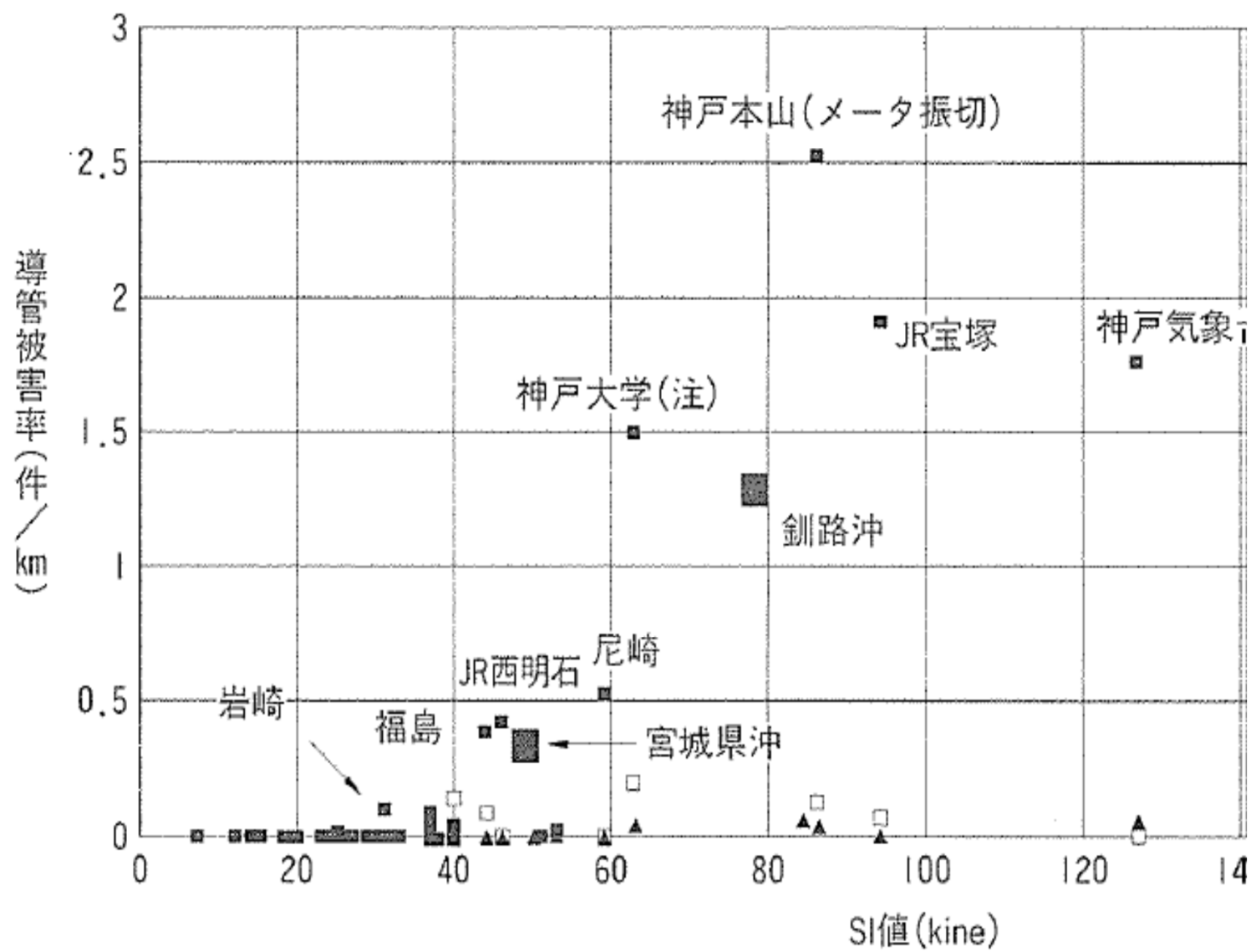
k-out-of-n遮断システムのkを制御変数とした検討

- 耐震管率に応じてkの数を変化させることが有効である
- 遮断基準値 $SI^*=60\text{kine}$ の場合よりも遮断基準値 $SI^*=80\text{kine}$ の場合のkの方が小さい値か同じ値となる
- k, 遮断基準値 $SI^*$ , 被害率基準値 $r^*$ を組み合わせた供給停止が必要である

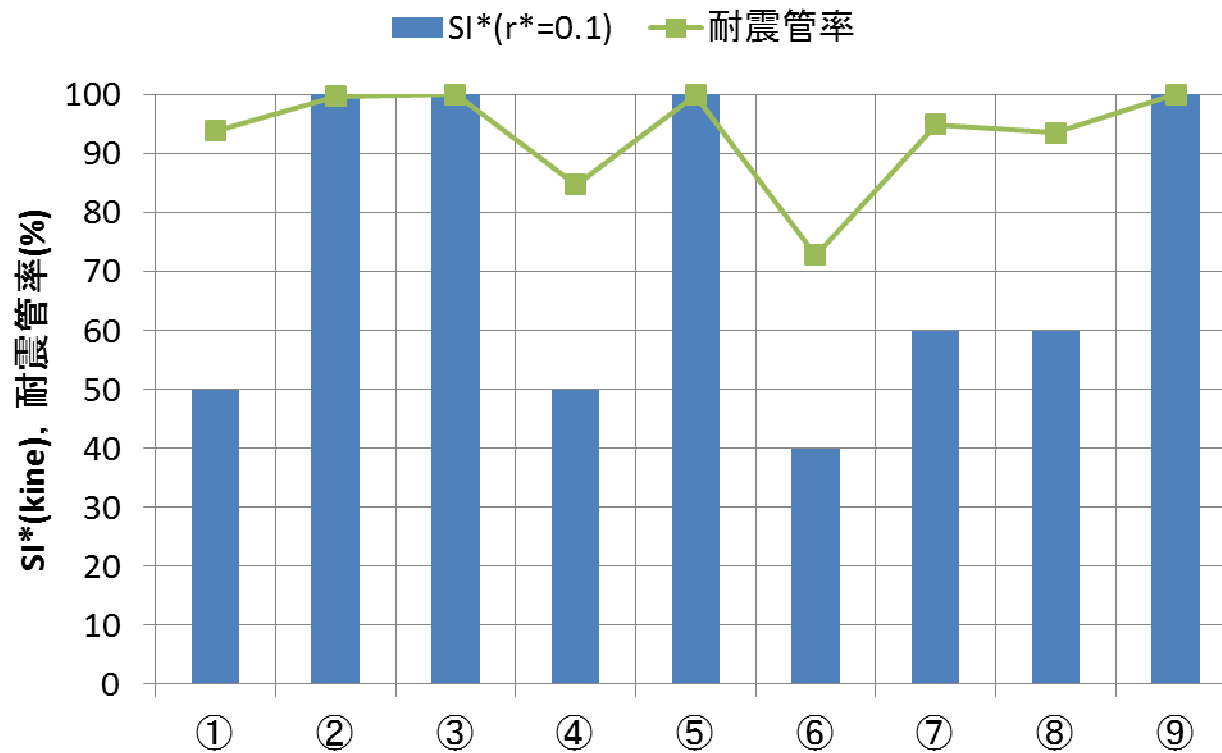
# 課題

---

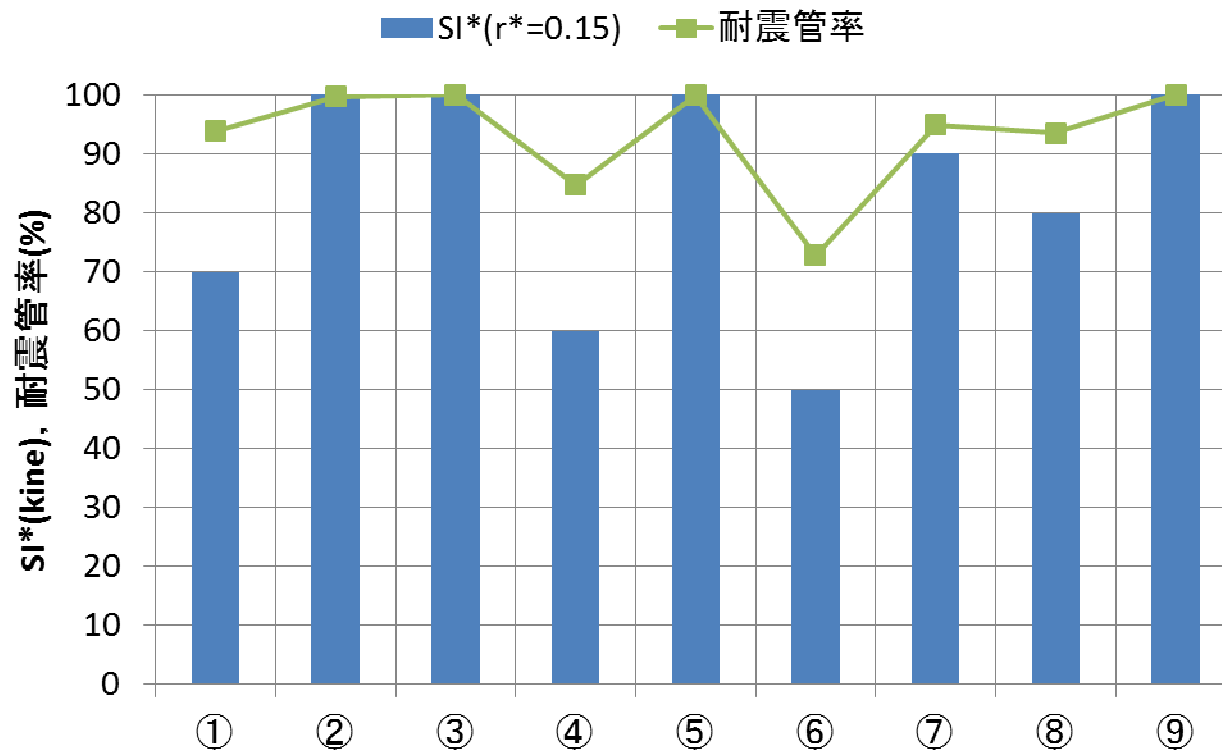
- 実際の地震時には, データ欠損の可能性があるため, kを固定化することは困難(nに対する比率で規定?)



# 性能評価のまとめ ( $r^*=0.1$ )

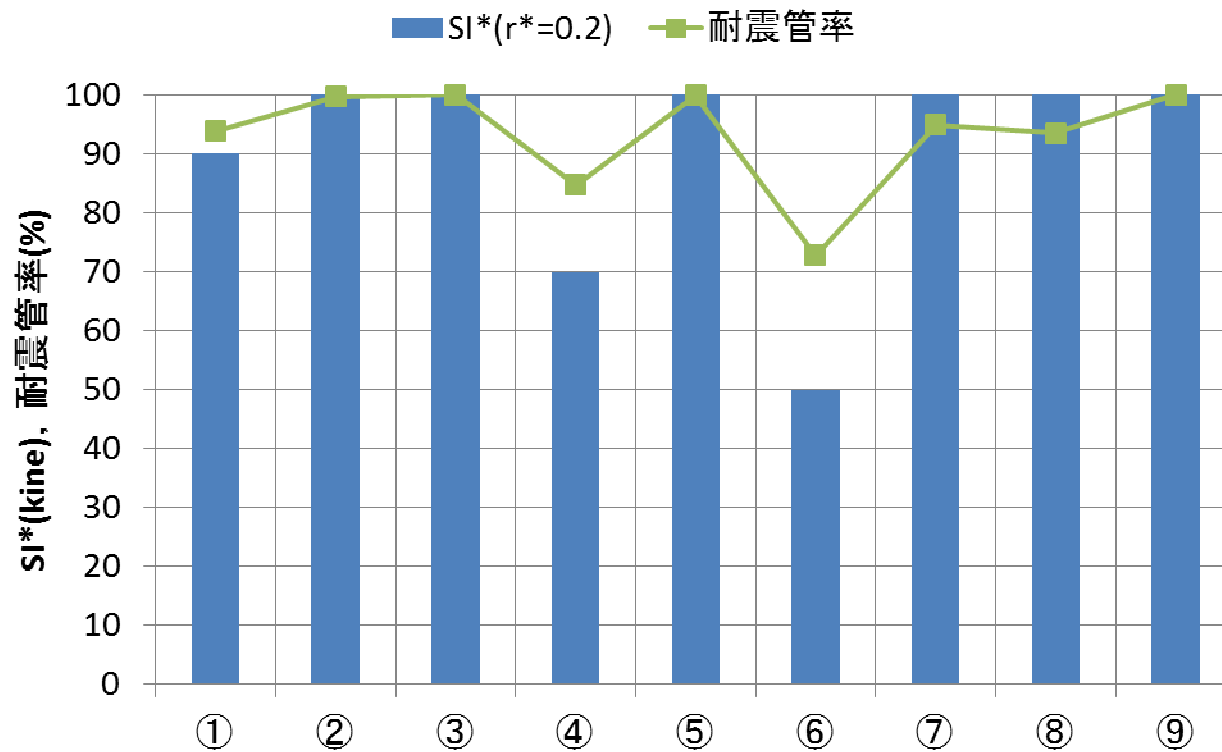


# 性能評価のまとめ ( $r^*=0.15$ )





# 性能評価のまとめ ( $r^*=0.2$ )



# 耐震管率に応じた適切なkの数

