

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

森山 達哉¹・能島 暢呂²・猪股 渉³・小山 高寛³・山端 悠介³

¹ 学生会員 岐阜大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)
E-mail: v3121029@edu.gifu-u.ac.jp

² 正会員 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)
E-mail: nojima@gifu-u.ac.jp

³ 正会員 東京瓦斯株式会社 防災・供給部 (〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20)
E-mail: inomataw@tokyo-gas.co.jp, koyama98@tokyo-gas.co.jp, yamahana@tokyo-gas.co.jp

地震時における都市ガス供給の第 1 次緊急停止判断を k -out-of- n 遮断システムとして位置づけ、供給停止判断の高度化に向けて基礎的検討を行った。モンテカルロ・シミュレーションにより SI 値の観測パターンを模擬的に生成し、遮断基準値との関係から k -out-of- n の概念に基づいて供給停止パターンを生成した。さらに被害関数を適用して種々の不確定要因を考慮したうえで低圧導管の被害率を生成した。さらに被害率の大小と供給停止判断の有無からなる 2×2 の分割表を用いてデータ分析を行い、遮断システムとしての性能評価を行った。感度・偽陽性率・陽性的中度・陰性的中度および ROC を評価指標として遮断基準値の妥当性を検討した結果、耐震管率に応じて遮断基準値を変化させることの適切性が明らかとなった。

Key Words: city gas supply system, SI sensor, supply shutoff judgment, k -out-of- n shutoff system

1. 目的と概要

都市ガスの第 1 次緊急停止判断においては、観測値 SI 値が遮断基準値 $SI^*=60$ 以上となった場合に供給停止なされることになっている。実際の都市ガス供給システムでは、SI センサが複数基設置されていることが多く、ブロック供給遮断と遮断基準値 SI^* との関係は「 k -out-of- n 遮断システム」としてモデル化される¹⁾。これは、供給ブロック内に SI センサが n 基設置され、そのうち k 基で基準値 SI^* 以上となった場合に供給停止判断が下されるという意味決定ルールをモデル化したものである。

具体例として、2011 年東北地方太平洋沖地震における仙台市ガス局の第 1 次緊急停止判断を対象として、 k -out-of-4 遮断システム ($k=1, 2, 3, 4$) とした場合の観測 SI 値とブロック供給遮断確率の関係を表す機能的フラスジリティ関数が構築された¹⁾。また bootstrap 法によって多様な SI 観測パターンと供給遮断パターンを生成する供給停止シミュレーションが行われ、 k -out-of- n 遮断システムの運用方法について有用な知見が得られた¹⁾。

しかしながら、観測 SI 値、遮断基準値 SI^* 、供給遮断判断の間の関係を検討するに留まっており、供給遮断の妥当性を検討する際に本質的に重要となる低圧導管被害との関係については扱われていない。このため k -out-of- n

遮断システムの特徴が明らかにされたとは言い難い状況にある。

こうした背景のもとで本論文では、東京ガスの SUPREME におけるガス供給ブロックおよび導管網に関するデータと、SI 観測体制および供給停止体制に関するデータを用いて、供給停止判断に関する k -out-of- n 遮断システムの性能評価を行うことを目的としたものである。特に、観測 SI 値と遮断基準値 SI^* に基づく供給停止判断および低圧導管（本支管）に予測される被害との関係については、先行研究では明らかにされておらず、本研究での中心的課題とするものである。

まず 2. では、モンテカルロ・シミュレーションを用いて、観測 SI 値、供給停止パターン、被害パターンを生成する手順を示す。3. では、生成されたデータセットを用いて、低圧ガス導管の被害率と供給遮断状況との関係を統計的に集計することによって、被害率に対する供給遮断率をモデル化した「供給遮断率曲線」を構築する方法を示す。4. では、供給停止判断の有無と被害率の大小で構成される 2×2 の分割表を用いて、感度・偽陽性率・陽性的中度・陰性的中度により供給停止判断のシステム性能を評価する手法を示す。5. では具体的な適用例として、遮断基準値 SI^* の設定が被害率と供給停止判断の有無との関係に及ぼす影響を明らかにする。また

ROC (Receiver Operating Curve) 曲線を用いた考察を行い、分類器としてみた場合の k -out-of- n システムのシステム性能について考察する。

2. モンテカルロ・シミュレーションによるデータ生成方法

システム性能の評価にあたっては、あらゆる不確定性を考慮することが重要である。ここでは、モンテカルロ・シミュレーション (MCS) によって SI 値の観測パターン、供給停止パターン、被害パターンを生成する。

図-1 に概念図を示す。試行回数については $N=10000$ 回とする。被害パターンの生成方法の詳細については、文献²⁾を参照されたい。

(1) SI 値の観測パターンの生成

まず基盤面 SI 値を表す SI_B についてはブロック内で一様と仮定し、偏りのないサンプルを得るため、 $SI_B=5\sim 100\text{kine}$ の範囲を $N=10000$ で分割して等間隔な SI_B を与える。層別化された SI_B ごとに、ブロック内の各 SI センサ位置における地盤増幅率 (対数正規分布に従うランダム変量とする) を乗じて、地表面 SI 値の実現値を得る。これによって、10000 セットの観測パターンを得る。

(2) 供給停止パターンの生成

各観測パターンごとに、 k -out-of- n のルールに基づく供給停止判断を行う。遮断基準値 SI^* については、 $SI^*=40\sim 100\text{kine}$ の範囲で、10kine 刻みで 7 種類の値を検討する。なお本研究では、 k -out-of- n 遮断システムの k を、 $k=n/2$ に固定した。すなわち、 $k=n/2$ (n が偶数の場合) もしくは $k=(n+1)/2$ (n が奇数の場合) 以上の SI センサで SI^* を上回った場合に供給停止判断がなされることとした。これによって、遮断基準値 SI^* ごとに、10000 セットの遮断パターンを得る。

(3) 被害パターンの生成²⁾

地表面 SI 値に基づいて、SUPREME の低圧ガス導管の被害予測方法³⁾を適用して、各 SI センサ周辺の被害箇所数を求める。それらをブロック内で集計してブロック内の被害箇所数を求め、ブロック内の導管延長距離で除して、ブロック内の平均被害率を得る。この平均被害率に基づいて、被害箇所数の実現値をシミュレーションする。その際には、偶然変動 (ポアソン分布に従う) を考慮するだけでなく、被害関数の式そのものの変動 (変動係数 20% のガンマ分布) をも考慮することとし、被害箇所数は負の二項分布に従うこととする。最後に、被害箇所数の実現値をブロック内の導管延長距離で除して、被

害率の実現値とする。以上により、10000 セットの被害率を得る。

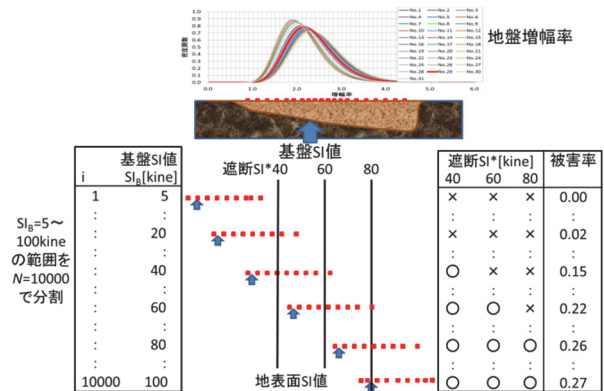


図-1 モンテカルロ・シミュレーションによる SI 観測パターン、被害パターン、供給停止パターンの設定

3. 被害率に対する供給遮断割合に基づく供給遮断率曲線

遮断基準値 SI^* による緊急停止判断の有無とガス導管の被害率との関係について、MCS による出力結果を集計して検討する。MCS では 2. で説明したように、基盤面 SI 値については均等なサンプルとなっており、各センサの観測 SI 値については SI 増幅度とそのばらつきに応じたランダムなサンプルとなっている。一方、 k -out-of- n 遮断システムとして遮断基準センサ数 k に応じて緊急遮断の有無を判断した場合には、「遮断あり」のサンプル数と、「遮断なし」のサンプル数が大きく偏る場合があるため、これらを次式で調整して均等化する

$$m'_{0i} = \frac{m_{0i}}{N_0} \cdot \frac{N}{2} \quad m'_{1i} = \frac{m_{1i}}{N_1} \cdot \frac{N}{2} \quad (1)$$

N_0 : N 回の試行のうち「遮断なし」と判断された観測パターン数

N_1 : N 回の試行のうち「遮断あり」と判断された観測パターン数 ($N_0 + N_1 = N$)

m_{0i} : 被害率ランク r_i に対して「遮断なし」と判断された観測パターン数

m_{1i} : 被害率ランク r_i に対して「遮断あり」と判断された観測パターン数

m'_{0i} : 被害率ランク r_i に対して「遮断なし」に関する調整されたパターン数

m'_{1i} : 被害率ランク r_i に対して「遮断あり」に関する調整されたパターン数

一例として、遮断基準値 $SI^*=60\text{kine}$ の場合において、調整された供給遮断パターン数を、被害率に対してヒス

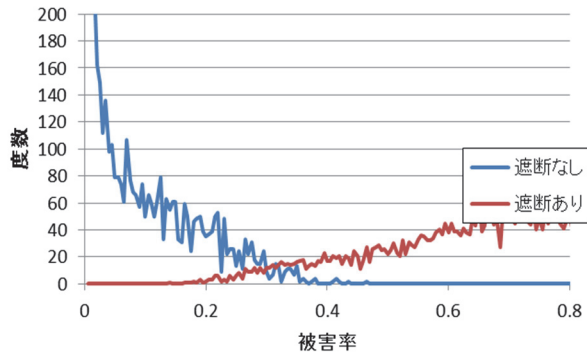


図-2 被害率に対する供給遮断の有無のヒストグラム
(遮断基準値 $SI^*=60kine$) (⑥ブロック)

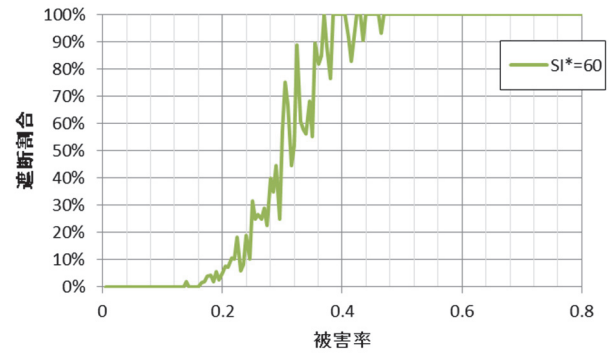


図-3 遮断基準値 $SI^*=60kine$ の被害率に対する供給遮断割合
(⑥ブロック)

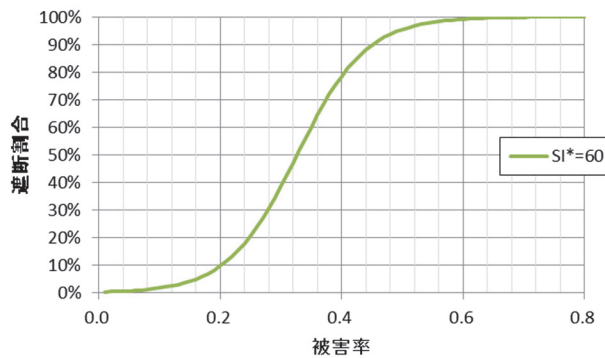


図-4 基準遮断 SI 値 $SI^*=60kine$ の場合の供給遮断率曲線
(⑥ブロック)

トグラム化した結果を図-2 に示す。また、次式より求めた供給遮断率 p を図-3 に示す。

$$p = \frac{m'_{li}}{m'_{0i} + m'_{li}} \quad (2)$$

図-2 のヒストグラムは、被害率に対するブロック遮断の有無の二項反応と捉えることができるが、平均的な状況を把握するには確率モデルで表す方が便利である。そこで被害率を説明変数としてブロック遮断に関する「供給遮断率曲線」を構築する。分布形状としては、ロジスティック分布を採用する。

$$F(r) = \frac{1}{1 + \exp[-(b_0 + b_1 r)]} \quad (3)$$

パラメータ同定にあたっては最尤推定法を適用し、Newton-Raphson 法を用いた反復計算により 2 個のパラメータの収束値を求める。図-4 に遮断基準値 $SI^*=60kine$ の場合の被害率に対する供給遮断率曲線の例を示す。遮断基準値 SI^* や k -out-of- n 遮断システムのルール（具体的には、ブロック分割による n の変化、 k の設定方法、セン

表-1 医療診断のための分割表

		診断		計
		Negative	Positive	
事実	病気	FN	TP	TP+FN
	健常	TN	FP	TN+FP
計		TN+FN	TP+FP	T

表-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

サ配置)を変化させて MCS を実施し、供給遮断率曲線を比較することにより、平均的な遮断レベルを定量的に捉えることができ、供給遮断システムの性能評価を行う

4. 分割表に基づく供給停止判断の評価方法

(1) 分割表に基づく評価指標

地震時の都市ガス供給停止判断における望ましい判断とは、「被害が小さい場合は供給継続と判断し、被害が大きい場合は供給遮断と判断する」ことである。これを信頼性工学における用語で整理すると以下ようになる。

- ・生産者危険（第 I 種危険）：被害が小さいにも関わらず供給遮断と判断すること。不必要な供給遮断となり、需要家への機能的被害が拡大する。
- ・消費者危険（第 II 種危険）：被害が大きいにも関わらず供給継続と判断すること。需要家における二次災害の危険を伴う。

表-1 および表-2 で示される分割表の形でデータを整理すると、表中の度数 TP, FP, TN, FN によつて性能評価を行うことが可能である⁴⁾。典型的な適用分野と

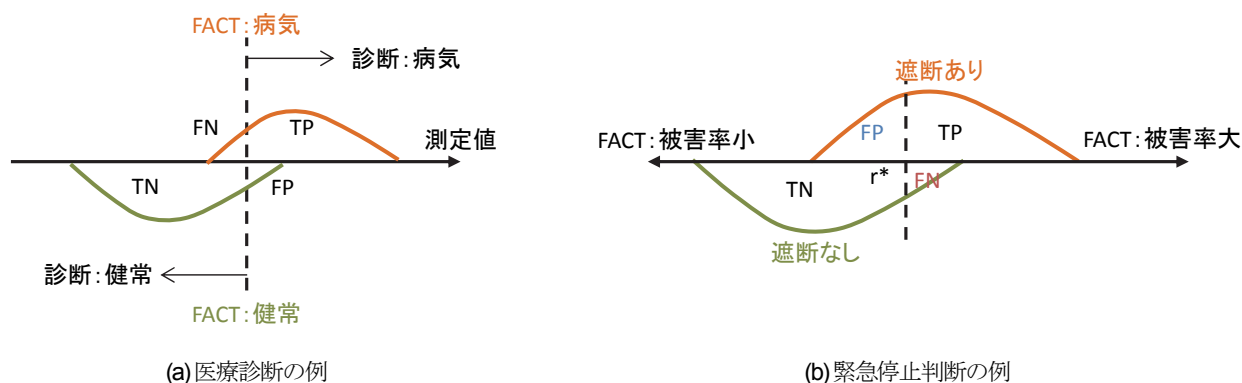


図-5 分割表を用いた評価指標の概念図

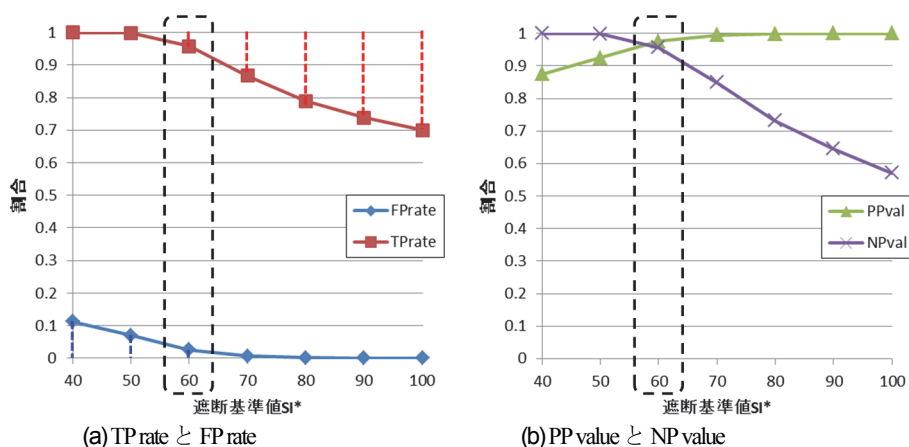


図-6 緊急停止判断の評価指標の例

しての医療診断の分野と、本研究で扱うガス供給停止判断の問題を対比させると、以下のように説明できる。

- ・医療診断（図-5(a)、表-1）：「検査の測定値と閾値の大小関係」に基づく、Positive（病気）or Negative（健常）の「診断ルール」と、FACT（病気か健常か：1 or 0）との整合性を議論する。
- ・供給停止判断（図-5(b)、表-2）：「遮断基準 SI 値 SI^* と k -out-of- n の観測体制および SI 観測結果」から決まる、Positive（遮断）or Negative（継続）の「意思決定ルール」と、FACT（被害率が $r \geq r^*$ なら危険性大、 $r < r^*$ なら危険性小：1 or 0）との整合性を議論する（被害率は連続量であるが、危険と見なされ遮断すべき被害率レベルとしての遮断基準値 r^* を設定している）。

両者は類似しているが、次に示すように、推定の方角性が異なっていることに注意が必要である。

- ・医療診断：原因（病気）→結果（測定値）の因果関係を逆方向に推定して診断する。
- ・供給停止判断：原因（揺れ）→結果（被害率）の因果関係を順方向に推定して判断する。停止判断の意思決定ルールは、4 つのパラメータ (SI^* , SI , k , n) に依存した複雑な構造をなす。

供給停止判断の問題では、記号 TP, FP, TN, FN の意味は以下の通りである。

- ・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

表-3 はこれらの記号を組み合わせた評価指標である⁴⁾。本研究では、文献⁴⁾に従って、「感度(TP rate)と偽陽性率(FP rate)」および「陽性的中度(PP value)と陰性的中度(NP value)」を評価指標とする。

表-3 分割表を用いた評価指標⁴⁾

感度 (Sensitivity) (True Positive rate : TP rate)	TP / (TP+FN)
偽陽性率 (False Positive rate : FP rate)	FP / (TN +FP)
陽性的中度 (Positive Predictive value : PP value)	TP / (TP+FP)
陰性的中度 (Negative Predictive value : NP value)	TN / (TN +FN)

(2) 分割表に基づく評価方法

評価方法について、図-6を用いて説明する。制御可能なパラメータとしては、遮断基準値 SI^* と k -out-of- n 遮断システムの k が候補として考えられるが、ここでは $k=n/2$ (n が偶数の場合) もしくは $k=(n+1)/2$ (n が奇数の場合) に固定するため、 SI^* の設定が及ぼす影響に着目することとする。

まず「TP rate と FP rate」について示した図-6(a)においては、FP rate の値 (青点線) が「小被害の場合に供給停止してしまった割合」を示し、 $1-(TP \text{ rate})$ の値 (赤点線) が「大被害の場合に供給停止しなかった割合」を示す。被害率が基準値以上である場合 ($r \geq r^*$) に遮断できて

いる割合 (TP rate) が高いほど「大被害の場合に供給停止しなかった割合」が少ないことを意味し、そのためには遮断基準値 SI^* を低く設定すれば良い。逆に、被害率が基準値未満である場合 ($r < r^*$) に遮断してしまった割合 (FP rate) が低いほど「小被害の場合に供給停止してしまった割合」が少ないことを意味し、そのためには遮断基準値 SI^* を高く設定すれば良い。このように2つの危険を同時に低減することはできず、競合する関係にある。両者のバランスを考慮すると、図-6(a)の場合、例えば遮断基準値 $SI^*=60\text{kine}$ と判断できよう。

次に、「PP value と NP value」について示した図-6(b)においては、供給遮断した場合に被害率が基準値以上 (r

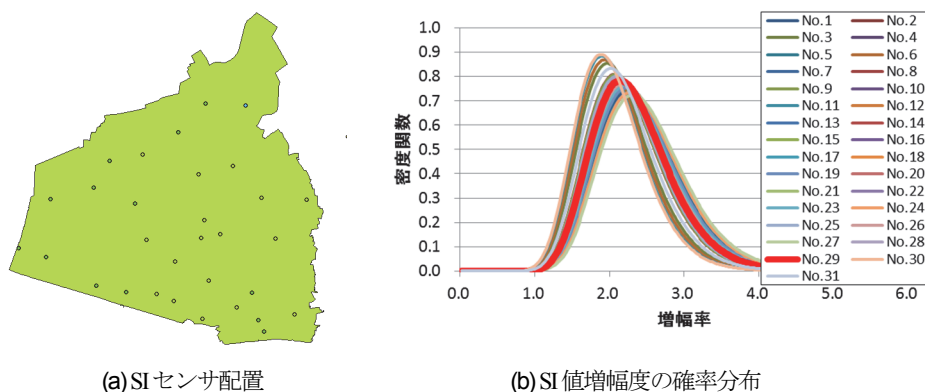


図-7 ⑥ブロックにおける SI センサ配置と耐震管率および SI 値増幅率の確率分布

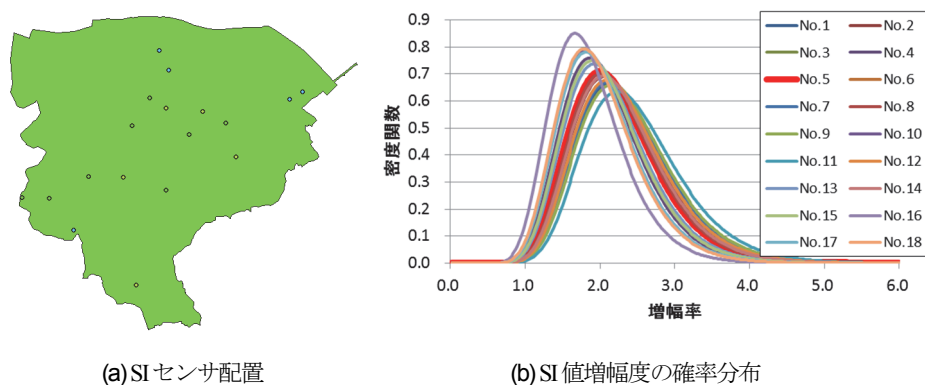
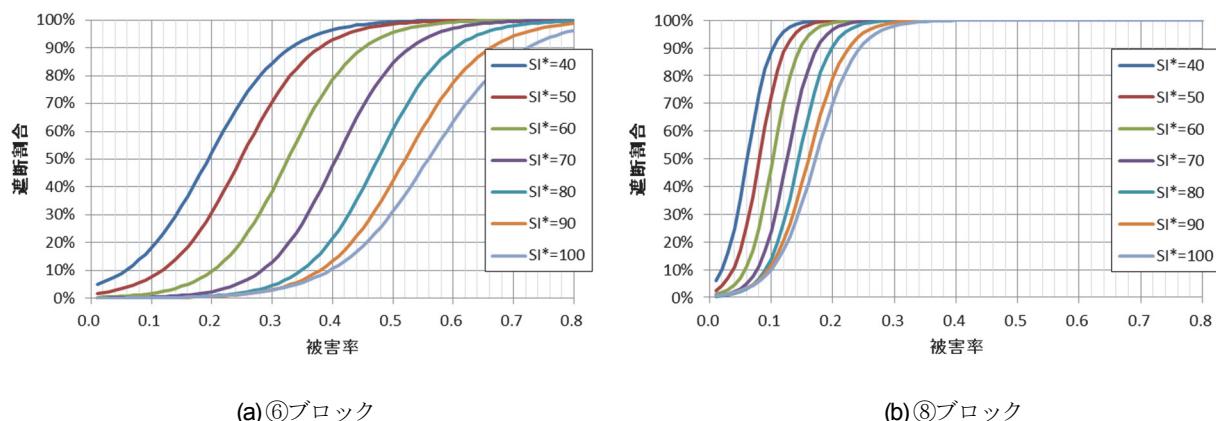


図-8 ⑧ブロックにおける SI センサ配置と耐震管率および SI 値増幅率の確率分布



(a) ⑥ブロック

(b) ⑧ブロック

図-9 基準遮断 SI 値の違い ($SI^*=40\sim 100\text{kine}$) が供給停止割合に与える影響

$\geq r^*$)である割合 (PP value) と、遮断しなかった場合に被害率が基準値未満 ($r < r^*$)である割合 (NP value) はともに高いほど望ましい。しかし両者を同時に高くすることはできないため、バランスを考慮すると、例えば $SI^*=60\text{kine}$ を妥当な遮断基準値と判断できよう。

5. 緊急停止システムの性能評価

ここまで説明した評価手法を適用し、供給停止判断に関する緊急停止システムの性能評価を行うとともに、遮断基準値 SI^* の設定方法に関する考察を行う。

(1) 対象とする2つのブロックと供給遮断率曲線

ここでは代表例として、図-7 に示す⑥ブロックと図-8 に示す⑧ブロックを取りあげる。⑥ブロックの耐震管率はかなり低い一方、⑧ブロックは耐震管率がかなり高いブロックである。また、 SI 値増幅度は平均的には⑥ブロックの方が⑧ブロックを上回っているが、ばらつきは後者の方がやや大きい。

図-9 に、それぞれ⑥ブロックと⑧ブロックの $SI^*=40 \sim 100\text{kine}$ の被害率に対する供給遮断率曲線を示す。全般的傾向としては SI^* を低く設定するほど低い被害率で

遮断され、 SI^* を高く設定するほど高い被害率で遮断されている。 $SI^*=60\text{kine}$ の遮断率 50%に着目すると、耐震化率が低い⑥ブロックでは被害率 0.32 (箇所/km) 程度、耐震化率が高い⑧ブロックで被害率 0.10 (箇所/km) 程度となっており、供給遮断率曲線は耐震化率の影響を強く受けていることがわかる。

(2) 分割表による性能評価

分割表による性能評価を行うにあたって、被害の大小を規定する被害率基準値 r^* を設定する。ここでは暫定的に安全側の設定として $r^*=0.1, 0.15, 0.2$ の3種類を採用した。

まず「FP rate と TP rate」について、⑥ブロックに関する結果を図-10 に示す。遮断基準値 SI^* は、 $r^*=0.1, 0.15, 0.2$ に対して、それぞれ $SI^*=40, 50, 50\text{kine}$ となることがわかる。次に⑧ブロックに関する結果を図-11 に示す。遮断基準値 SI^* は同順に $SI^*=60, 80, 100\text{kine}$ 以上となる。

次に、「PP value と NP value」について考察する。⑥ブロックに関する結果 (図-12) によると、遮断基準値 SI^* は $r^*=0.1, 0.15, 0.2$ に対して、それぞれ $SI^*=40, 45, 50\text{kine}$ となる。「FP rate と TP rate」とは若干異なるものの、ほぼ同等な結果となっている。⑧ブロックに関する結果 (図-13) によると、遮断基準値 SI^* は同順に

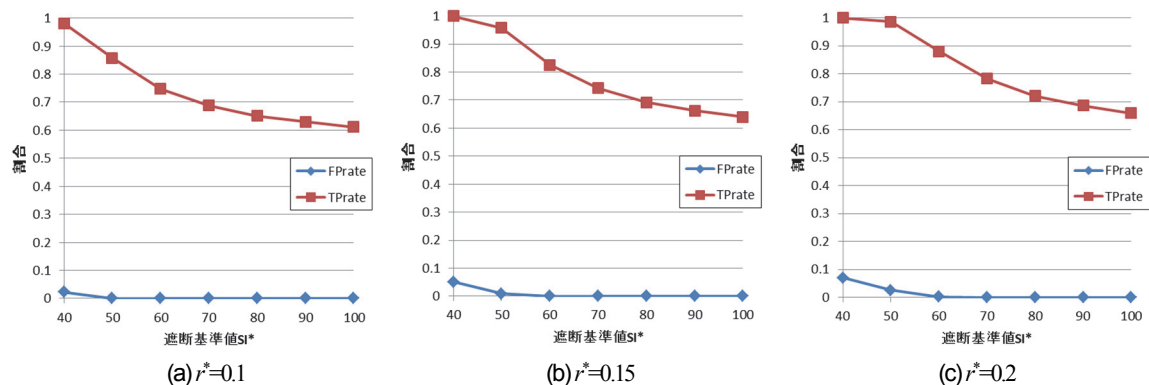


図-10 被害率基準値 r^* 別の FP rate と TP rate (⑥ブロック)

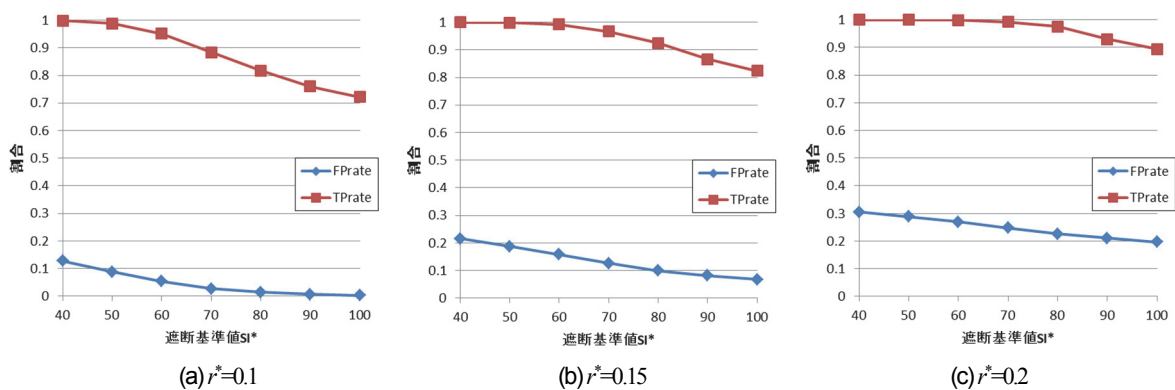


図-11 被害率基準値 r^* 別の FP rate と TP rate (⑧ブロック)

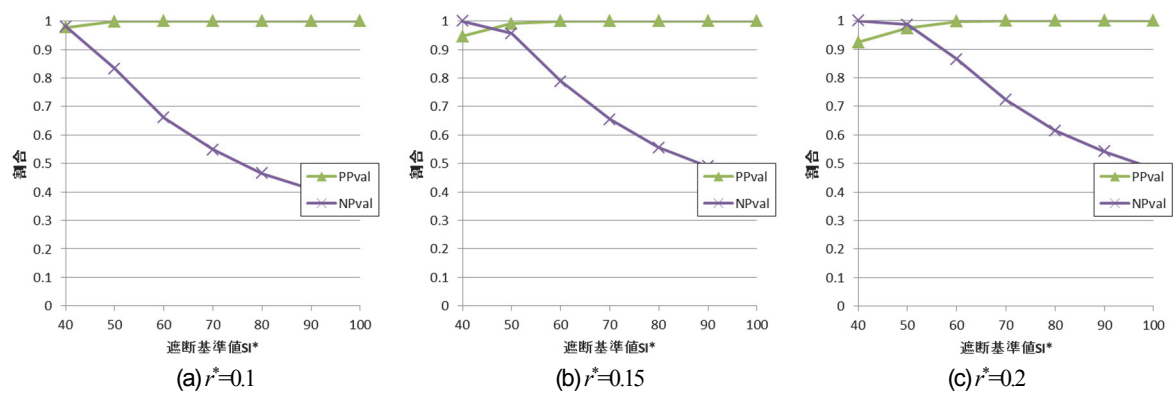


図-12 被害率基準値 r^* 別の PP value と NP value (⑥ブロック)

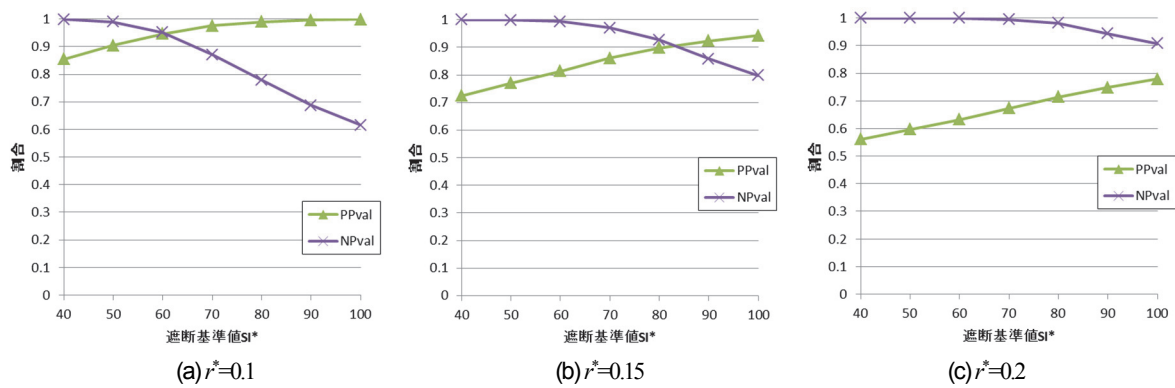


図-13 被害率基準値 r^* 別の PP value と NP value (⑧ブロック)

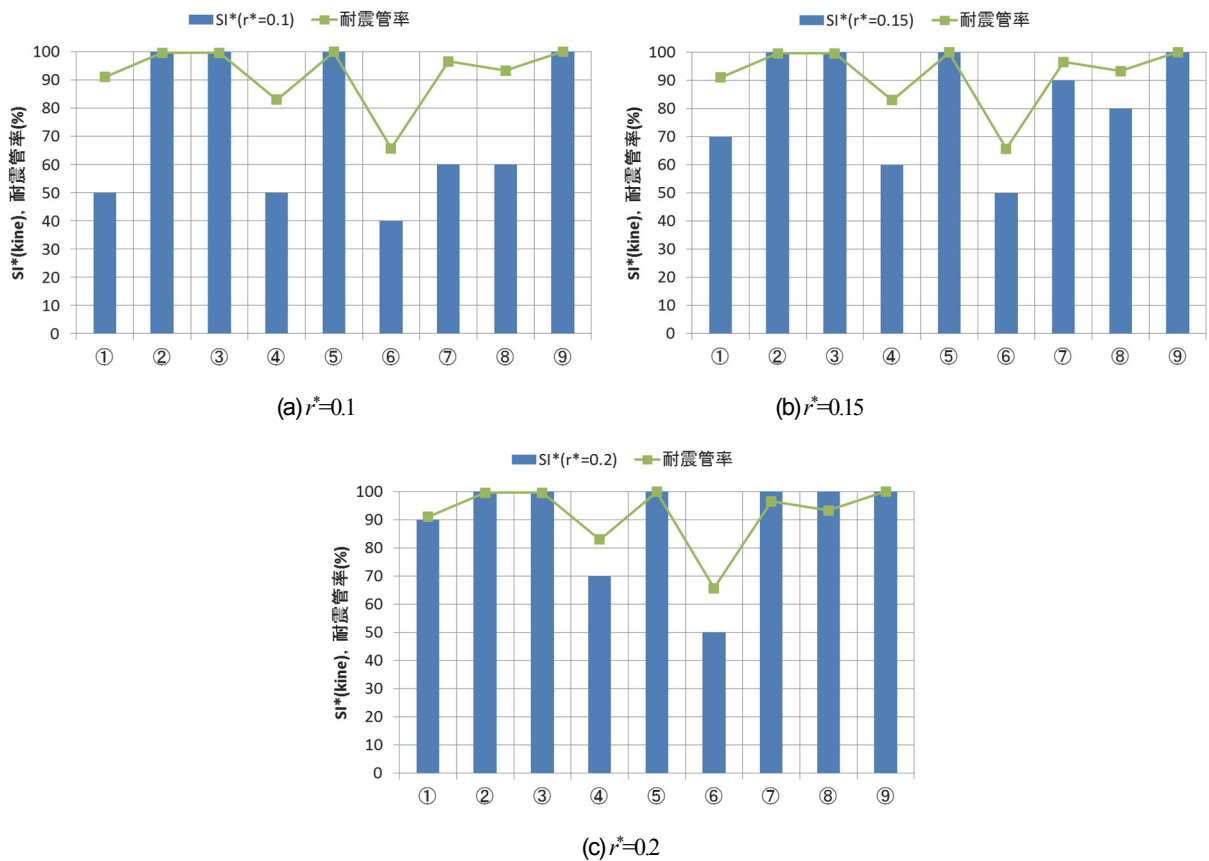


図-14 各ブロックの適切な遮断基準値 SI^* とガス導管の耐震管率

SI*=60, 80, 100kine以上となり, 「FP rate と TP rate」と同じ結果が得られた。

前述のように, ⑥ブロックは⑧ブロックに比べると耐震管率が低い。このことが, 遮断基準値 SI*が低い値となった主要因と考えられる。

(3) 多様なブロックを対象とした性能評価

より多様なブロックで比較することを目的として, 9個の L ブロック (ブロック①～⑨) を選定し, 同様の検討を行った (前述の⑥ブロックと⑧ブロックはこれらに含まれる)。

対象とした9ブロックについて, 「FP rate と TP rate」および「PP value と NP value」による検討を行い, 基準被害率 $r^*=0.1, 0.15, 0.2$ に対して適切と考えられる遮断基準値 SI*を求めた結果を図-14 に示す。全般的には, 当然のことながら, 基準被害率 r^* が低いほど SI*も低く, r^* が高いほど SI*も高くなる。遮断基準値 SI*は 40～100kine の範囲で検討しているため, SI*が 40kine 以下および 100kine 以上が適切と判断される可能性がある場合でも, それぞれ 40kine, 100kine と表示している。

設定した 40～100kine の範囲で, 適切な SI*はブロックによりかなり異なることがわかる。図には各ブロックにおける耐震管率をあわせて示しており, これらとの関係を考察する。遮断基準値 SI*は, 耐震管率が低いブロックでは低く, 耐震管率が高いブロックでは高くなる傾向

が認められる。すなわち, 耐震管率に応じて SI*を変化させることが適切といえる。このこと自体はほとんど自明のことであるが, 予測に伴うあらゆる不確定性を考慮した上で, シミュレーションを通じて定量的な根拠が示されたことに意義がある。

(4) ROC 曲線による性能評価

続いて, ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線を用いた遮断システムの性能評価を行う。ROC 曲線とは, 横軸に FP rate (偽陽性率), 縦軸に TP rate (感度) をとり, それぞれのデータに関する指標をプロットしたものである⁴⁾。本研究の適用例では, SI*=40～100kine の 7 種類の基準値に対するプロットが得られる。SI*を低くするほど FP rate, TP rate とともに高く, SI*を高くするほど FP rate, TP rate とともに低くなるため, SI*=40kine は右上, SI*=100kine は左下に位置する。それらの間の SI*については右上から右下に向けて連続的にプロットされる。この間, 常に TP rate = FP rate となる場合は, ROC 曲線は点 (1,1) と原点 (0,0) とを結ぶ緑線となり, 分類器の性能が 0 であるといえる。一方, 点 (0,1) は完全な分類ができていることを意味し, この点を通る線に近づくほど高性能ということになる。つまり, 点 (0,1) に近い点となる SI*が効率的な遮断基準値を与える。

ここでは, 5.(2)で対象とした 2 つのブロックに関する結果を示す。基準被害率 $r^*=0.1, 0.15, 0.2$ に対する⑥ブ

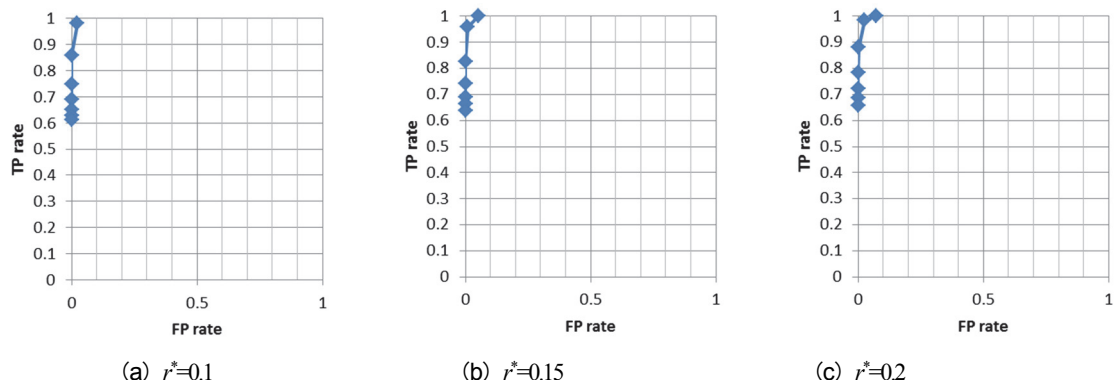


図-15 基準被害率 r^* 別の ROC 曲線 (⑥ブロック)

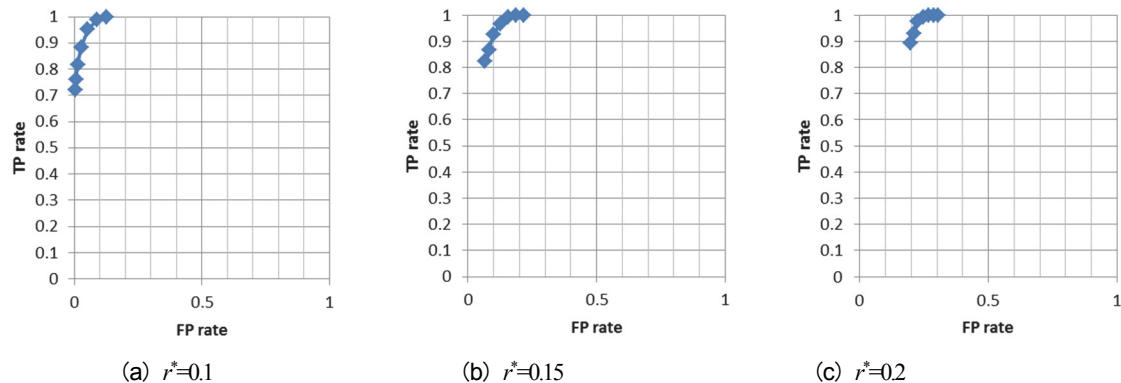


図-16 基準被害率 r^* 別の ROC 曲線 (⑧ブロック)

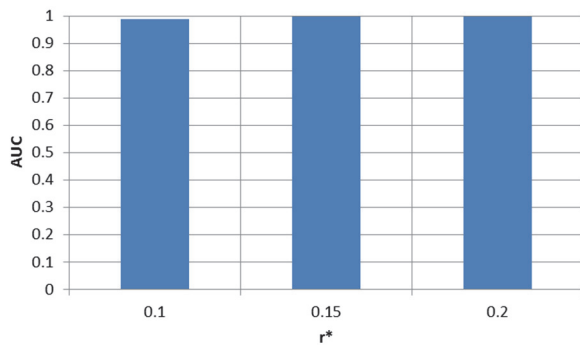


図-17 被害率 r^* 別の AUC (⑥ブロック)

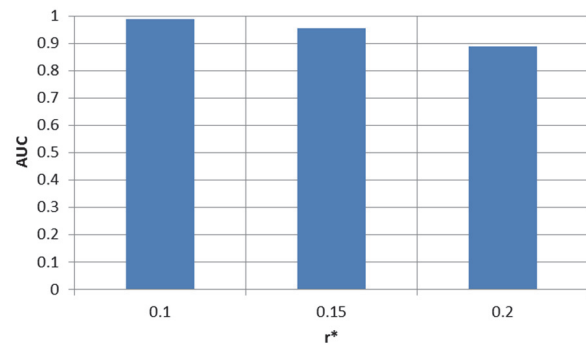


図-18 被害率 r^* 別の AUC (⑧ブロック)

ロックの結果を図-15 に示す. 点(0,1)に近い点となる SI^* は, $r^*=0.1, 0.15, 0.2$ に対してそれぞれ, $SI^*=40, 50, 50\text{line}$ となることからわかる. ⑧ブロックの結果を示した図-16 によると, 同様に $SI^*=60, 80, 100\text{line}$ 以上となることからわかる. これは, 分割表による性能評価の結果と同じである.

次に, AUC(area under the curve)について検討する. AUC とは, ROC 曲線と横軸, 縦軸で囲まれた面積で, 0.5 から 1 の値を取り, 大きいほど分類の性能の良いことを表す⁴⁾. ⑥ブロックの結果を図-17 に示す. どの r^* においても約 0.99 となり, あまり差はみられず, どれも高性能となる. ⑧ブロックの結果を図-18 に示す. $r^*=0.1, 0.15, 0.2$ に対してそれぞれ, 0.99, 0.95, 0.89 となり, 一般的な分類性能は十分に良いと言える.

6. まとめと今後の課題

本研究では, 都市ガス供給システムの供給停止判断に関して, $k\text{-out-of-}n$ 遮断システムとしての性能評価を行った. 得られた成果を以下に示す.

- 1) モンテカルロ・シミュレーションにより, SI センサごとの SI 観測値, $k\text{-out-of-}n$ のルール ($k=n/2$ に固定) による供給停止判断, および, ブロック内導管被害率を, 10000 パターン発生させた. その結果を集計して導管被害率と供給遮断率との関係を算出し, 「供給遮断率曲線」をロジスティック曲線でモデル化した.
- 2) 供給停止判断と導管被害率に関する分割表を用いて, 「感度 (TP rate) と偽陽性率 (FP rate)」およ

び「陽性的中率 (PP value) と陰性的中率 (NP value)」による評価を行った. 遮断基準値 $SI^*=40 \sim 100\text{line}$ の範囲で, SI^* が導管被害率と供給停止判断との関係に及ぼす影響を明らかにし, 適切な SI^* が耐震管率と深く関連することを示した.

- 3) ROC 曲線を適用した結果, 分類器としてみた場合の $k\text{-out-of-}n$ システムの判別性能が極めて高いことを示した.

本研究では, $k\text{-out-of-}n$ 遮断システムの $k=n/2$ に固定して, 制御変数を遮断基準値 SI^* とした. 今後の課題としては, $SI^*=60\text{line}$ もしくは 80line に固定して, 制御変数を k とした検討を進めることが挙げられる.

参考文献

- 1) 能島暢呂, 加藤宏紀: $k\text{-out-of-}n$ 遮断システムとしてみた都市ガス供給の第 1 次緊急停止判断に関するシステム分析, 土木学会論文集 A1S, Vo.71, No.4, 2015.7.
- 2) 能島暢呂, 森山達哉, 猪股渉, 小山高寛, 山端悠介: 都市ガス供給システムにおける導管被害予測と供給停止判断への機械学習の応用, 第 36 回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, 2016.10.
- 3) (公財) 地震予知総合研究振興会: 観測地震動情報等を活用した高度被害推定手法の確立に向けた検討, 平成 26 年度報告書, 2015.3.
- 4) 元田浩, 津本周作, 山口高平, 沼尾正行: データマイニングの基礎, (株)オーム社, pp201-208, 2008.

PERFORMANCE EVALUATION OF EMERGENCY SHUTOFF SYSTEM OF CITY GAS SUPPLY SYSTEM IN EARTHQUAKE DISASTER

Tatsuya MORIYAMA, Nobuoto NOJIMA, Wataru INOMATA, Takahiro KOYAMA
and Yusuke YAMAHANA

City gas shutoff system in earthquake disaster can be modeled as a k -out-of- n system activating shutoff when observing SI values exceeding a prescribed criterion. In this study, performance evaluation is carried out in order to better manage trade-off between service continuity and shutoff. Monte Carlo simulations are conducted to generate a set of SI values, resulting shutoff status in accordance with the criterion and corresponding damage ratios using fragility function and pipeline inventory. The generated dataset is analyzed using contingency table and associated indices such as true positive rate, true negative rate, positive predictive value, negative predictive value and ROC. Practical examples suggest that shutoff criterion can be appropriately determined by considering level of earthquake-resistance of low-pressure pipe.