

東日本大震災における運転指令設備の運用状況と今後の技術動向

(Operational Status of Operation Paging Systems During the Great East Japan Earthquake and Technical Trends)

柴崎 宏行*
(H. Shibasaki)

東日本大地震において、各発電所は運転指令設備等による避難指示により人的被害を防ぐことができた。東日本大震災における運転指令設備の運用状況と今後の技術動向について調査研究をおこなった。

During the Great East Japan Earthquake, thermal power plants were able to prevent the loss of lives by giving evacuation instructions through paging systems, etc. This study was conducted in order to investigate the operational status of paging systems during the Great East Japan Earthquake and technological trends.

1. はじめに

東日本大地震に際し、東日本の太平洋岸に立地する火力発電所は地震発生と津波警報発令を受け運転指令設備（以下ページングという）による避難指示により避難が開始され、発電所の職員や見学者から作業員に至るまで一人ひとりが的確に行動し、人的被害を最小限に防ぐことができた。本稿では、被災した火力発電所における避難誘導の運用状況と、ページングの被害状況と復旧内容および今後の防災減災に対するページングの改善を含む今後の技術動向について報告する。尚、本研究にあたり各火力発電所にアンケート調査をおこなうとともに適宜現地調査やヒヤリングを実施した。

2. ページングの概要

2.1 火力発電所ページングの歴史概要

ページングは、昭和30年に国産第1号機が導入されて以来の長い歴史を持っている。

ページング誕生以前、昭和20年代から各種産業の分野において、距離的に広範囲な場合または緊密な連携を必要とする業種においては、適当な連絡装置が不可欠であり、それも迅速、確実、明瞭に相互の意思を伝達出来るものが求められた。特に騒音の多い製鉄所分塊圧延工場や火力発電所において、作業効率を向上する目的で音声による相互の通話および指令を迅速かつ確実におこなうことが可能な装置を強く要望されていた。これらの要望

に基づき、増幅装置を補助装置として数局の、即時相互通話を可能とする電話回路と拡声装置を組み合わせた相互通話拡声装置が開発された。相互通話拡声装置の端局増幅器（ハンドセットステーション）を写真1に示す。

一方、現在にいたるページング方式は、欧米の火力発電所で採用されていたpower plant communication systemおよび国産の相互通話拡声装置を参考に昭和28年から研究が進められ、昭和30年に中部電力(株)三重火力発電所に国産第1号機が導入された。

その後、ページングはあまり関心をもたれなかったが、多奈川（関西）、荏田（九州）、千葉（東京）、その他Gilbert社、Ebasco社のような米国のconsultant engineerの関係した諸発電所では、かならず付帯設備として装備されていることから、以後不可欠のものとして重要視され、各電力会社の援助のもとに発電所そのものの実態を

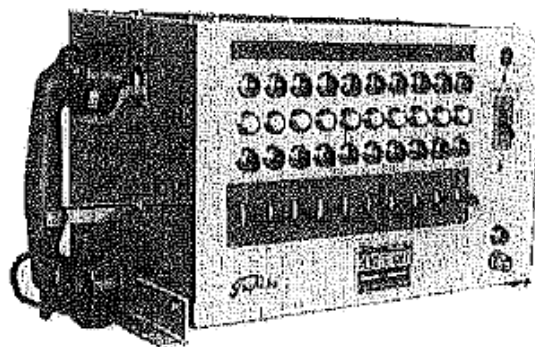


写真1 相互通話拡声装置の端局増幅器

*マグナ通信工業(株)

(MAGUNA Telecommunication industries Co., Ltd)

原稿受付年月日 平成25年9月17日

調査研究し、そのデータを基に運転上もっとも合理的に使用できるよう絶えず改良が加えられてきた。

このようにページングはもともと火力発電所用として設計されたものであり、発電プラントの円滑な作業には欠くことのできない重要な設備であり、騒音が大きく、しかも広大な構内における迅速な呼出応答には有用な設備となっている。初期のページングでは図1に示す中部電力(株)名港火力発電所のように、現在一般的ページングの呼出が相手無選択であるのに対し選択式である。このように初期のページングは試行錯誤をおこない現在的方式となっていく。初期のハンドセットステーションを写真2に示す。

2.2 ページングの通信方式

ページングは、構内すべての場所相互間で所要の相手

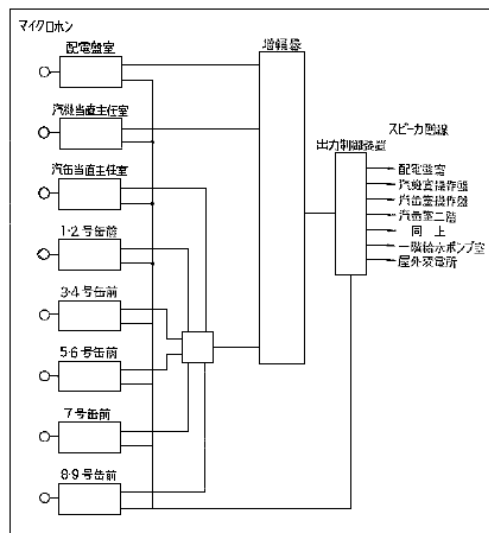


図1 初期のページング系統図
(名港火力発電所運転指令装置系統)

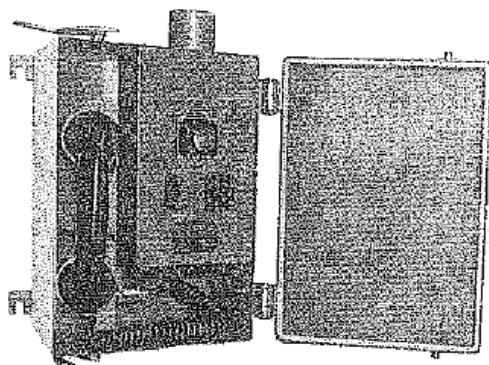


写真2 初期のハンドセットステーション

を迅速に呼び出し、確実な通話が行えるもので、相互の意思を確実に伝達し、緊急処置をとることができる設備である。ページングのシステムは、主として多数のハンドセットステーション（送受話装置）とスピーカおよび共通に設けられた増幅器によって構成されている。

回路方式は呼出（指令）（Paging）と通話（Party-Line）の2チャンネル音声伝送方式で、呼出チャンネルはハンドセットの送話器出力を増幅し、同系統全部のスピーカを作動させるものであり、通話チャンネルは各ハンドセットステーション内蔵の増幅器で1個または数個のハンドセットの受話器を作動させるものである。

ハンドセットステーションおよびスピーカは現場各所に配置され、制御増幅器は通信機室などに設置される。この運転操作は通常、すべてハンドセットステーションにおいて行い、制御増幅器を遠隔制御して呼出、指令、一般通話、会議通話および警報発令等を回線選択せずに、即時に行うことができる。したがって交換機のような回線選別装置がなく制御増幅器も無操作である。図2に現在のページング回線系統図を示す。

また発電所によっては、運転に支障が出ないように通話を3チャンネル化して、構内工事業者等は運転とは別の通話回線を使用する例もある。その場合、ケーブルは既設そのままで（2芯シールド線×3本）、回路の工夫により省線式通話3チャンネル方式も可能である。

2.3 ページングのシステム構成

ページングの構成は、基本的には図3に示す様に制御増幅器、各種ハンドセットステーション、それと同数のスピーカ、それにケーブルを分岐するためのケーブル分岐箱から構成される。ケーブル分岐箱は省略されることもあり、その際は各ハンドセットステーションでケーブルの渡りを取りながら布設する。アンプ（電力増幅器）の容量はスピーカの数で決まり、例えば15Wホーンスピーカを8台使うとすると $15W \times 8 = 120W$ なので100W

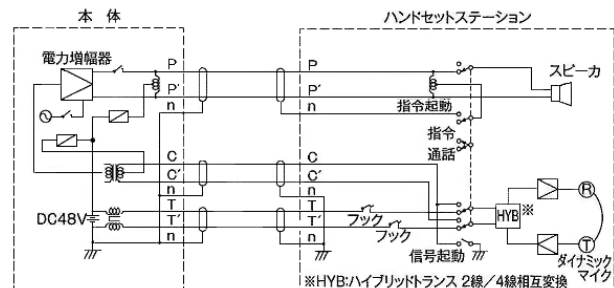


図2 現在のページング回線系統図

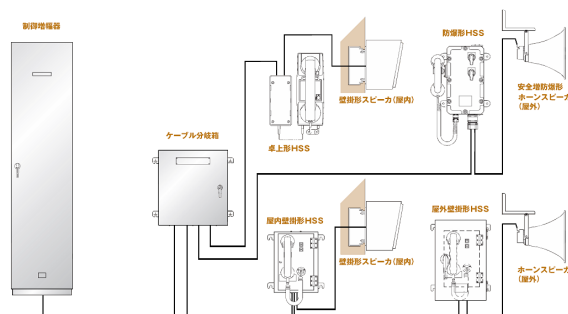


図3 ページングの構成

アンプ2台が必要となる。アンプ容量は、過負荷とならぬよう、すべて切り上げて100W単位で計算する。

3. 震災時のページングの運用状況

地震発生と同時に各発電所では非常対策本部が設置され、事前に設定されたマニュアルに従った行動がとられた。津波の襲来をテレビ等で確認すると直ちに、ページングや構内電話を使用して全員を非難誘導した。避難先はほとんどの発電所がタービン建屋3階のタービンフロアであり、他に本館事務所とした所もあった。

避難指示に用いられた通信手段としては、マニュアルに従いページングが全ての発電所で使われた他に、構内放送装置（事務所内）、構内電話（構内PHS含む）、無線機等が使用された。また、ページングにサイレン機能があるものは合わせて使用された。

東北電力(株)仙台および新仙台火力発電所では、発生が間近いといわれていた宮城県沖地震への備えとして「緊急地震速報システム」を導入していた。地震発生直前、気象庁からの速報が入り、直ちにページングにより構内各所のスピーカから緊急地震速報が放送された。

また、相馬共同火力発電(株)新地発電所においては、地震発生当日は埠頭作業、定検作業、通常の発電所業務、見学者、総勢1,000名を越える多くの人々が発電所構内にいたが、津波警報の発令によりページングによる避難指示に的確に行動し発電所の職員や見学者から作業員に至るまで人的被害の発生を防ぐことができた。

4. ページングの被害・復旧状況および課題

4.1 ページングの被害状況

各火力発電所の震災による被害は地震動によるページング機器の破損はほとんどなく、その殆どが津波による被害であった。津波が襲来した発電所では、1階面に設

置された電気設備のほとんどが水没して機能を喪失した。

電気制御盤、ポンプ、モーター、水処理装置、排水処理装置等の補機類の近傍に配置されているページングの機器（ハンドセットステーション、スピーカ）も例外ではなく冠水のため大きな被害を受けた。また、侵入した海水の勢いによって倒れた屋外自立型ハンドセットステーションもあった。津波の衝撃による破損状況を写真3、4に示し、津波による冠水状況を写真5、6に示す。

冠水はケーブル分岐箱にもおよび、そのケーブル分岐箱系統すべてのハンドセットステーションが使用不能となった。

さらに、グラントレバルのハンドセットステーションおよびケーブル分岐箱は冠水により回線の短絡、地絡を起こした。この回線の短絡、地絡によりページング制御



写真3 津波による破損状況
(屋外自立型ハンドセットステーション)



写真4 津波による破損状況
(屋外自立型ハンドセットステーション)



写真5 ハンドセットステーション冠水状況
(屋内壁掛型ハンドセットステーション)



写真6 ケーブル分岐箱冠水状況

装置の通話電源の保護回路が動作して通話電源が停止し（図2のDC電源部）その結果、発電所構内のハンドセットステーション全てが使用不能の状況となった。写真7は外線（通話回線）の短絡、地絡によりページング制御装置の通話電源盤の警報表示付きヒューズが溶断し故障表示（白丸）が出た状態を示す。また、その後無停電電源化されていないページング制御装置においては、元電源の喪失に伴い機能停止に至った。

4.2 ページングの復旧状況

今回の震災の被害を受けて、多くの発電所において早



写真7 外線短絡・地絡による通話電源断（白丸）の状況

期に仮設復旧が実施された。津波による破損機器および冠水による機器、ケーブルは絶縁抵抗測定および導通確認を実施し、ケーブルの健全性を確認。短絡、地絡回線はケーブル分岐箱で分離し、正常な回線のみ復旧し、ページング制御装置を再起動した。ページングに関しても最も早く仮設復旧がおこなわれた東京電力㈱広野火力発電所は、翌日に不具合箇所を切離し、健全な系統のみ仮復旧を行い余震、津波の再来襲に備えた。また、発電所自体が甚大な被害を被った東北電力㈱原町火力ではその後、構内通報装置を仮設し余震に備えた。

4.3 ページングの課題

4.3.1 ページングに対する意見要望

地震発生後の避難行動については、調査を行ったいずれの発電所も避難行動がスムーズに行われていたが、課題も残された。アンケート調査とヒヤリングの結果、以下の意見要望があった。

- (1) 無線機、トランシーバーの数に限りがあることから、海岸付近設備の状況確認や移動中に津波警報が発令された場合等において、連絡できない場合がある。
- (2) ページングが使用できない・聞こえないエリアがあり、構内の作業員全員が構内PHS、無線機等の連絡手段を持っていないことから津波警報の周知方法の改善が望まれる。
- (3) 地震動の大きな横揺れにより高所作業を行っていた作業員が落下し死亡する事故が発生した。人身災害防止の観点から、地震発生直前に高所作業者が危険な状態から退避できるようにする対策が望まれる。
- (4) 今回のような震災においては、ハンドセットステーション、スピーカ等が津波の影響により被害を受

けたが、電源設備についても電源が絶たれ、復旧工事における連絡手段の確保が困難であったことから外部電源を必要としない通信システムの開発が望まれる。

- (5) 地震発生時、ハンドセットより「地震発生中・地震発生中」と実際に呼びかけを行った所員は落ち着いてゆっくり呼びかけを行ったが、現場で聞いた所員は内容を聞き取れなかった。原因は、現場においては機器の運転音の他に、地震による構造物の揺れに伴う音が大きいことや、地震による周囲の状況に慌て注意がページングによる呼びかけに向かなくなったことによる。非常災害発生時は、ページングによる呼びかけの他、構内各所に目視による避難指示表示が設置されれば、より短時間で確実に避難完了となると考えられる。また、ページングスピーカからの音声についても、騒音の中でもクリアに聴き取れることが望ましい。
- (6) 構内避難先にあるページングスピーカから伝わる音声が届き取りにくい、ハンドマイクによる連絡も同様に聞き取り難く、情報の伝達が難しい。避難先に設置したページングが、より聞き取り易い音声で伝われば、避難集合した各人員への情報の伝達が的確に行え、大声を張り上げることや、ハンドマイクを使用することによる体力の消耗を減らすことが出来る。

4.3.2 ページングの課題

調査による意見要望を集約すると以下の課題があった。

- (1) 地震、津波警報の周知方法
- (2) ページング難聴エリア
- (3) 電源喪失時の連絡方法
- (4) ページングの早期復旧

5. 防災減災に関する設備改善および技術動向

地震発生直後の避難誘導については各発電所ともページング等により避難指示がおこなわれたが、前述の課題も浮かび上がった。これらの課題に対する設備改善および今後の技術動向について検討を行った。

5.1 地震、津波警報の周知方法の改善

緊急性の高い情報を瞬時に伝達するため、次の改善手段がある。

(1) 緊急放送機能

一部の発電所で取り入れられていた「緊急地震速報システム」は地震発生直前、気象庁からの速報を瞬時に構内作業員に放送で知らせるシステムで、今回の震災で有用性が確認された。この緊急地震速報は既存のページングに機能を追加改造することによって改善することができる。また、津波注意報等が発令された場合、ページングによる避難指示は所員によって行われるため、避難放送を行うための人員が必要となる。さらに人による放送であるため、通常放送と緊急時放送の識別が難しい上、心理的、肉体的条件により明瞭度に欠ける場合がある。さらに手動での操作となるため、放送系統の選択・併合の誤操作、誤認により構内全エリアに放送できない場合も考えられる。

これらの改善策としては、自動で避難放送を行えるよう、オートアナウンスマシーンによる自動放送で聞き取り易い明瞭な発声内容と、注意を喚起するサイレンを組み合わせ、簡単なボタン操作により、確実に構内全エリアに放送が行うことができる。図4に既設ページングおよび構内放送設備に追加する場合の一般的な概要を示す。

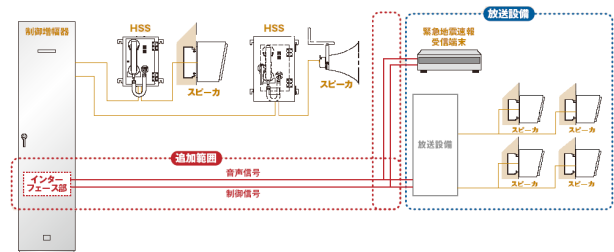
(2) 緊急地震速報表示機能

上記の緊急地震速報受信端末の中には、緊急地震速報表示機能を有するものがあり、放送と連動し震度、地震到達予想時間等を表示できる。この機能を活用し、高騒音等でページング放送が聞こえ難い場所でもサイレンと表示機能を組み合わせることにより注意を喚起することが出来る。

5.2 ページング難聴エリアの改善

(1) ページング難聴エリアに対する対策

発電所構内全域に渡って緊急時の放送が聞き取れるた



- ① 構内放送設備に接続し、緊急時同時に放送を行う。
- ② 緊急地震速報受信端末より受信した信号を受け、全てのスピーカから地震発生の放送を行う。

図4 緊急放送機能の一般的な概要

めにはスピーカの配置が重要である。既存のスピーカから距離がある場合や現場の騒音等により緊急放送が注意を引くことができない場合があった。

難聴エリアに対する対策は、構内主要箇所でのページング使用可能範囲を調査し、必要に応じスピーカの設置を行う。

構内主要箇所の難聴エリアの解消のため、スピーカの設置を検討する場合は、以下条件を参考に配置する必要がある。自由空間におけるホーンスピーカの到達距離の理論値を表1に示す（15Wスピーカを使用した場合）。また、スピーカの出力ごとの目安を図5に示す。

スピーカの可聴音圧レベル・距離は、周囲騒音レベルにより変わる。まず、据付場所の騒音レベルを騒音計で測定し、図5を参考にスピーカの据付間隔を設定する。

目安として「周囲騒音（dB）+10（dB）」位の距離までを可聴距離として検討する。注意点として「周囲騒音（dB）+10（dB）」を確保しても残響時間が長い場合、明瞭度が損なわれ、スピーカからの音声が届き取りにくい場合がある。音の反響しやすい場所の設置には注意が必要である。図6に測定点の条件を示す。

(2) 高所作業現場等のエリアに対する対策

高所作業現場等、通常スピーカが設置されていないエリアに緊急性の高い情報を瞬時に伝達するためには前述の緊急放送機能に加え、放送内容を伝えるスピーカの改善が必要である。

この対策として、全国自治体の約75%に普及している

表1 スピーカからの距離と音圧レベル（理論値）

	距離L (m)						
	1	2	4	8	16	32	64
音圧レベル(dB)	122	116	110	104	98	92	86

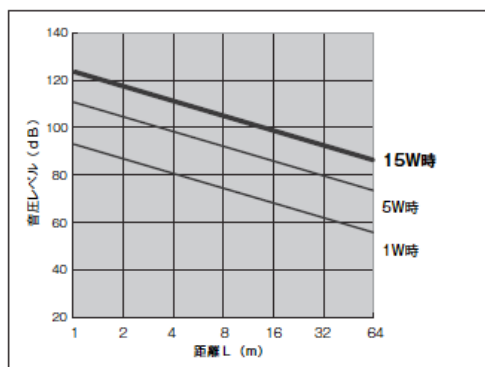


図5 スピーカからの距離と音圧レベル（目安）

防災行政無線において防災情報を伝達するための手段として現在注目を集めている防災情報拡声用長距離伝達スピーカがある。

長距離伝達スピーカは複数のスピーカユニットを連結させて使用し角型のホーンスピーカユニットを4段以上に連結、線状に音を発生する状態を作ることによって、遠くまで、クリアに音を伝えることが可能となった。

長距離伝達スピーカの特徴としては、従来型の屋外スピーカの2～3倍の遠達性があり500～1,000m先でも高い明瞭性を持つ。また、上下方向の指向性が鋭く前方向へ音を伝える能力が高いため、高い場所に設置する事で、スピーカ直下でも通常レベルの音量で聞こえる。写真8に長距離伝達スピーカの外観を示す。

5.3 電源喪失時の連絡方法の改善

ページング用電源は無停電形が多いが、電源の完全喪失時にも確実な通信手段が求められる。緊急通話装置は、専用のバッテリーレスハンドセットステーションとキャパシタユニットにより構成される。

専用のハンドセットステーションには手動の発電機が備えられていて、呼出のために回す発電機のエネルギーをキャパシタユニットに蓄えて、通話回路の電源とする

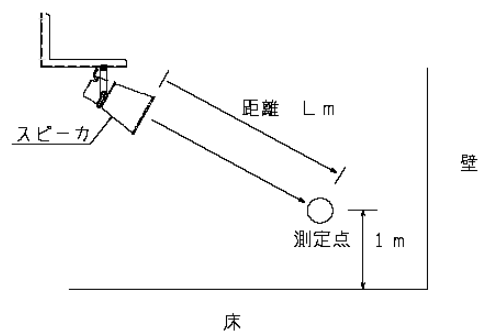


図6 騒音測定点

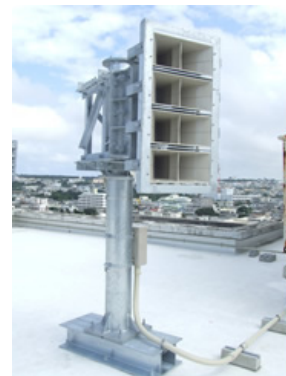


写真8 長距離伝達スピーカ外観

外部電源を必要としない方式（バッテリーレス）の通話システムで、設置地点間（中央制御室～主要連絡先間等）の相互通話に使用する。また、ページングのハンドセットステーションに組み込み緊急時には構内の重要箇所に配置することによりいかなる状況にも通信手段を確保することができる。但しその場合は既存のページング回線に専用の回線追加が必要となる。図7に緊急通話装置のハンドセットステーション外観を示す。

5.4 ページングの早期回復に関する改善

グラントレレベルの冠水によるハンドセットステーションおよびケーブル分岐箱内の回線の短絡、地絡による構内のページングが全機能停止に対する対策として、当該の回線を分離し、正常な回線のみ復旧することができる。

図8にページング系統の分岐例を示す。

回線系統の分離は冠水していない直近の階に配置され

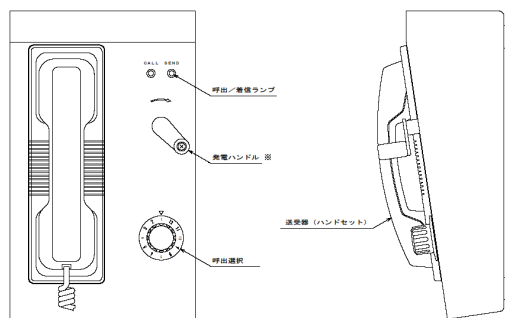


図7 緊急通話装置のハンドセットステーション外観
(※は手回し発電ハンドル)

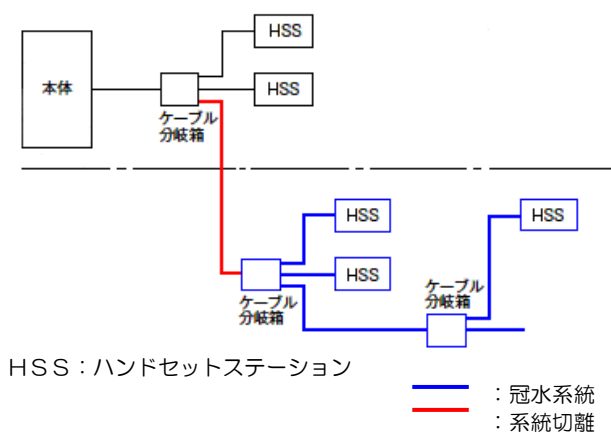


図8 ページング系統分岐例

ているケーブル分岐箱で行う。回線分離の具体的方法はページング回線系統を把握し、中継のケーブル分岐箱にて手動により冠水域の回線を分離する手段、または、各ハンドセットステーションへ接続される回線を常時監視し異常時（回線短絡・地絡時）には回線を自動的に切り離す回線監視装置を設置する手段がある。

回線監視装置はページング制御装置またはケーブル分岐箱に設置し、津波の冠水などにより短絡・地絡等の異常回線を自動的に分離し、健全な回線のみでページングの運用を行うものであり、災害時の通信途絶を防止するものである。

6. おわりに

ページングは長年に亘り火力発電所を初め、発電プラントの運転指令・通話を行う一設備として発展してきた。

その後、保安電話設備の発展型として構内PHSが普及するに従って連絡手段としての使用頻度が低下していた。しかし、今回の東日本大震災に際し、不特定多数の人員を確実にかつ一斉に避難誘導できるページングの重要性が見直されている。今後想定される震災に対しても、以上の改善を含む更なる機能向上や強靱化により防災、減災にページングが寄与できるものと期待される。

参 考 文 献

- (1) 石渡 武：「工業用相互通話拡声装置」，東芝レビュー 10巻3号（1955.3）
- (2) 石渡 武：「火力発電所指令通信装置」，東芝レビュー 11巻2号（1956.2）
- (3) 石渡 武：「発電所運転指令装置」，東芝レビュー 14巻6号（1959.6）
- (4) 震災復旧調査委員会「東北地方太平洋沖地震火力発電所の被害と復旧調査報告書」火力原子力技術協会（2012.9）
- (5) 高根澤利夫「東日本大震災による当社火力発電所の被災状況と今後に向けた対策について」，日本機械学会研究報告書（2013.3）
- (6) 清水克利「ページングハンドブック」，マグナ通信工業(株)（2013.4）