

既設アナログカメラを活用したデジタルITVシステムの開発

(株)四国総合研究所 エネルギー技術部
(株)四国総合研究所 エネルギー技術部
(現：四国計測工業(株) 西条事業所)

海稻 隆成
土田 雅彦

キーワード： 工業用テレビシステム
同軸ケーブル
減衰率
アナログカメラ
HD-SDI カメラ
IP カメラ

Key Words : ITV system
Coaxial cable
Attenuation rate
Analog camera
HD-SDI camera
IP camera

Development of the Digital ITV System Utilizing Existing Analog Cameras

Shikoku Research Institute, Inc., Energy Engineering Department
Takashige Kaine and Masahiko Tsuchida

Abstract

We have developed a new digital ITV system that can operate both digital and analog cameras on the digital system including existing analog cameras and existing low-frequency coaxial cables.

Conventional ITV system is based on an analog system in many cases and it is not compatible with digital cameras. It is very difficult to operate digital cameras on a conventional ITV system and replacement of the entire analog system is usually required in order to introduce new digital cameras.

In this paper, we describe the method of digitized analog ITV system, the result of HD-SDI signal transmission tests in low-frequency coaxial cables, and the outline of the digital ITV system operated in a thermal power plant.

1. はじめに

火力発電所では、複数のカメラやその制御装置、映像切替器やモニタ等の機器を組合わせたシステム(Industrial Television System 以下、ITV システム)を設置し、中央制御室等から現場各所を遠隔監視している。

ITV システムは、通常の監視はもとより現場異常時の監視が遠隔ででき、運転員の省力化にもつながるため重要性が高まっており、高画質・高機能なデジタルカメラによる監視機能の強化が求められている。

従来型であるアナログ方式の ITV システムは、デジタル方式との互換性がないため、これまでは同一システム上で両方式のカメラを運用することは困難であった。デジタルカメラを新たに導入するためには、アナログ方式の ITV システム全体をデジタル方式に更新することが一般的であるが、更新費用が高額となるため、ユーザの大半は、アナログ方式を使い続けているのが実情であった。

本稿では、既設アナログシステムを最大限に活用し、デジタルカメラへの部分取替や増設が可能で、かつ同一システム上で両方式のカメラを運用できるデジタル ITV システムを開発したので報告する。

2. 統合 ITV システム開発の背景

四国電力(株)西条発電所では、1号機のリプレース工事に伴い新設する中央制御室(以下、新中央制御室)に、現行の主要設備用の制御室Ⅰと、周辺設備用の制御室Ⅱを統合し、新1号機と現行2号機の運転監視を行う計画である。

新中央制御室においてカメラを一様に制御・監視する計画のため、新1号機用 ITV システム(以下、新1号 ITV:デジタル方式)と現行2号機用 ITV システム(以下、2号 ITV:アナログ方式)を統合した ITV システム(以下、統合 ITV)による現場監視が必要となった。

統合 ITV の開発にあたり、基本設計仕様を次項のように定め、将来的に完全デジタル化への移行も可能なシステムとして開発した。

3. 統合 ITV システムの設計

3.1 基本設計仕様

基本設計仕様を以下に定め、最適なハードウェア

の選定や各種試験、ならびに ITV 制御装置のソフトウェア製作等を行った。

<基本設計仕様>

- ① 新1号 ITV に2号 ITV を統合したシステムを構築する。
- ② 汎用デジタルカメラ方式を使用したシステムとする。
- ③ アナログカメラとデジタルカメラが混在する環境において、すべてのカメラを一様に制御し、映像を一様に監視できる。
- ④ カメラの取替や増設は、製造メーカーや機種種の制約なく、1台毎にアナログ、デジタルを任意に選定できる。
- ⑤ 2号 ITV は、既設アナログカメラ毎に敷設されているケーブルを流用することで設備投資を抑制する。

3.2 2号 ITV システム概略

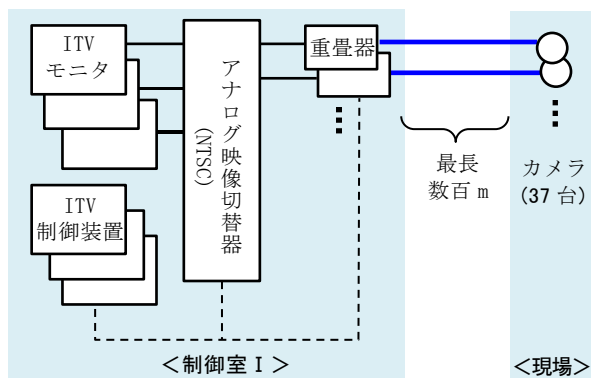
2号 ITV のシステム概略を図1に示す。2号機では、制御室Ⅰと制御室Ⅱにそれぞれ独立した ITV システムが導入されている。現場各所に設置されたアナログカメラは、重畳器を介してアナログ映像切替器と低周波同軸ケーブルで接続されている。

ITV 制御装置は、ITV モニタに出力するカメラ映像の選択や、カメラ操作に用いる制御信号(パン・チルト・ズームを制御する信号:以下、カメラ制御信号)を送信している。

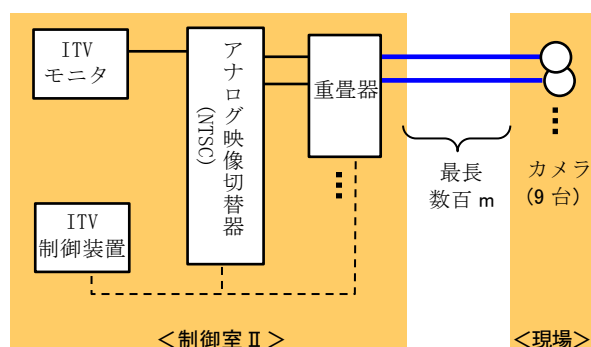
カメラ毎に敷設されている既設同軸ケーブルは最長で数百メートルあり、再敷設する場合は工事費が高額となるため、可能な限り流用することを計画している。しかし、既設同軸ケーブルはアナログカメラ用の低周波同軸ケーブル※1であるため、高周波のデジタル信号を送信する場合は減衰が大きくなり、伝送距離が短くなることが想定される。

そこで低周波同軸ケーブルにおけるデジタルカメラ適用の可否を評価するため、デジタルカメラ方式の比較検討を行った。

※1 高周波同軸ケーブルと区別するため、アナログカメラ用同軸ケーブルを低周波同軸ケーブルと記載



(a) 2号 ITV(主要設備)



(b) 2号 ITV(周辺設備)

図1 2号 ITV システム概略

3.3 デジタルカメラ方式の比較検討

(1) 比較項目の選定

デジタルカメラ方式の選定にあたり、以下の項目について比較した。

(a) カメラ画素数

デジタルモニタの一般的な画素数は 200 万画素(解像度 1980×1080)であるため、鮮明な画像を表示するためには、カメラも同画素数が必要となる。

アナログカメラ映像(36万画素)をデジタルモニタに表示した場合、約 6 倍の拡大となり、映像の不鮮明さが顕著となる。また将来的に、画像処理による異常検知等の機能を付加する場合も高画素数の映像が望ましい。

(b) 映像伝送距離

低周波同軸ケーブルを使用するためには、カメラ映像信号が現場適用に支障のない距離(300m程度)を伝送することが必要である。

(c) 互換性

同じ方式のカメラを使用した場合においても、メーカーや機種を問わず映像の送受信が保証されていないければ、ITV モニタに映像が表示できな

い可能性がある。

(d) 映像遅延

映像遅延には、撮影した映像をカメラ内部で信号処理する時間(カメラ内部信号処理遅延)と、ITV モニタで映像を表示中に別のカメラに切替えた場合に、その映像がモニタに表示され始めるまでの時間(モニタ映像切替遅延)がある。アナログカメラに慣れている場合、0.5 秒以上の遅延があれば、映像遅延として認識される場合が多い。

(e) 旋回式カメラ

カメラの撮影範囲によっては、水平方向に対し仰角・俯角両方向の撮影が必要となる。ドーム型カメラは、構造上カメラの背面が撮影できず撮影範囲が限られるため、設置個所の状況により設置台数を増やす必要性があり、旋回式カメラの有無が重要となる場合がある。

(2) デジタルカメラ方式の選定

監視用途として一般的なデジタルカメラ方式(AHD, HD-TVI, HD-CVI, HD-SDI, IP)の仕様をそれぞれ比較した。(表 1)

(a) AHD, HD-TVI, HD-CVI 方式

低周波同軸ケーブルの使用を前提に開発されたカメラで、高画質のカメラ映像を約 500m 伝送することができる。しかしこれらのカメラは、同じカメラ方式であってもメーカーが異なれば互換性が保証されておらず、映像が映らない可能性がある。

このため、これらの方式の統合 ITV への適用は見送ることとした。

(b) HD-SDI 方式

SMPTE 292M(Society of Motion Picture and Television Engineers: 米国映画テレビ技術者協会)で規定された放送用標準規格で、SMPTE 170Mで規定されたアナログ放送規格(NTSC)の後継規格であり、高周波同軸ケーブルを使用して 100m の映像伝送が可能である。HD-SDI 信号の周波数は 1.485GHz と高く、低周波同軸ケーブルを使用した場合は伝送可能距離がさらに短くなるが、ケーブル両端に EX-SDI(Extended Serial Digital Interface)変換器を接続することで、約 300m まで延長できる可能性がある。(図 2)

同規格を満たしている機器は、メーカーが異な

る場合にも互換性が保証されている。映像遅延は、目視では判別できない程度であるため、本稿では遅延なしとしている。また旋回式カメラの機種もあり、その通信コマンドが公開されている場合が多い。

以上から、HD-SDI 方式は伝送可能距離の制約を満たす場合には、統合 ITV への適用に最も有望な方式であると考えられる。

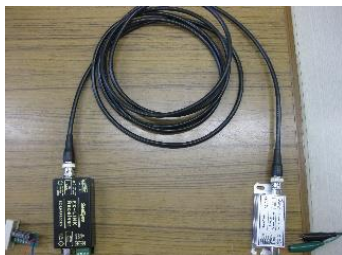


図 2 EX-SDI 変換器

(c) IP 方式

撮影した映像をインターネットプロトコルに準拠したデータ形式に変換し、伝送する方式である。低周波同軸ケーブルにそのまま接続しての伝送はできないが、LAN-同軸変換器を付加することで、1000m 程度までは問題なく動画が送信できる。

IP 方式は、撮影した映像を H. 264 等の方式で圧縮処理する時間と、カメラ切替時に通信を確立する時間により遅延が発生する。前者は 1 秒程度であるが、原理上短縮することは困難である。後者は数秒程度あるが、映像データ変換器を付加し通信状態を常時確立させておくことで、遅延を解消できると考えられる。

また映像データ変換器は、IP 映像の HD-SDI 映像信号への変換・常時出力、さらに ITV モニタにカメラ映像だけを表示させるための画像処理

表 1 デジタルカメラ仕様比較

方式	画素数	映像 伝送距離 ※1	互換性	映像遅延※2		旋回式 カメラ	評価
				カメラ内部 信号処理	モニタ 映像切替		
AHD (Analog High Definition)	200 万	約 500m	×	無	無	△	適用困難
HD-TVI (High Definition Transport Video Interface)							
HD-CVI (High Definition Composite Video Interface)							
HD-SDI (High Definition Serial Digital Interface)	200 万	100m 未満 (EX-SDI 変換器無)	○	無	無	○	適用可 (ケーブル長 300m 未満： HD-SDI 300m 以上： IP)
		約 300m (EX-SDI 変換器有)					
IP (Internet Protocol)	200 万	1000m※3 (LAN 同軸 変換器有)	○	約 1 秒	数秒 →無※4	○	
参考 NTSC (National Television Standards Committee)	36 万	約 500m	○	無	無	○	— (アナログカメラ)

○：対応可 △：通常の方法では対応困難 ×：対応不可

当社調べ：インターネットや聞き取り等で主要な機器を調査したため、市販カメラ全ての調査は未実施

※1 低周波同軸ケーブルを使用した場合の想定距離

※2 目視で確認できない程度の遅延は無と記載

※3 映像伝送に支障のない通信速度を確保できると想定した距離を記載

※4 映像データ変換器使用時

機能(ブラウザ上に表示される操作画面と映像画面から、映像画面のみを抽出・拡大)を有したソフトウェアをインストールしている。(図3)

以上から、IP方式は統合ITVへの適用は可能であり、映像伝送距離が長いこと適用範囲も広がるが、付加機器数が多くなることと若干の遅延が発生するため、優位性はHD-SDI方式にあると考えられる。

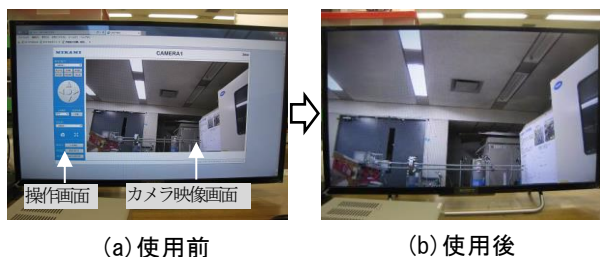


図3 映像データ変換器使用前/後の映像比較

4. 低周波同軸ケーブルを用いた HD-SDI 信号伝送試験

HD-SDI方式は統合ITVへの適用が最も有望であるが、伝送可能距離に限られるため、HD-SDI方式の適用範囲を明らかにする試験を行った。

HD-SDI方式は、(一社)電波産業会「1125/60方式HDTV信号のビット直列インターフェース規格」において、同軸ケーブルの減衰量が、HD-SDI信号の1/2クロック周波数742.5MHzにおいて20dB以下であれば、映像伝送が保障されるよう規定されている。この減衰量は、高周波同軸ケーブル(5CFB)の距離に換算すると約100mであるが、低周波同軸ケーブルを使用する場合は減衰量がより大きくなるため、信号伝送試験により減衰量と映像伝送可否の関係性を評価した。

4.1 ラボ試験

(1) 試験方法および妥当性確認

既設低周波同軸ケーブルの減衰量を市販の測定機器(ネットワークアナライザ)を用いて測定する場合、ケーブルを閉回路にしなければならないが、既設低周波同軸ケーブルは両端が相当距離離れているため閉回路の作成は困難である。

そこで、信号発生装置(RFジェネレータ)と信号強度測定装置(スペクトラムアナライザ)をそれぞれにより減衰量を測定することとした。

試験概要、使用した装置は図4の通りである。RFジェネレータより742.5MHz、10dBmの信号を出力し、接続する同軸ケーブルの本数を増やしながらか減衰測定を行った。測定の結果、信号強度はケーブル本数に比例して減少し、その減少量を同軸ケーブル減衰量とすると、測定値と理論値はほぼ一致し、本試験方法が妥当であることが確認できた。(図5)

なお試験用に製作した同軸ケーブルは、関西通信電線(株)製3C2V、ケーブル長:23.5m、減衰量:396dB/km(770MHz)であり、コネクタを含めた1本当たりの減衰量は9.9dB/本(770MHz)で、現場に敷設している低周波同軸ケーブル(7C2V)50mと同程度である。

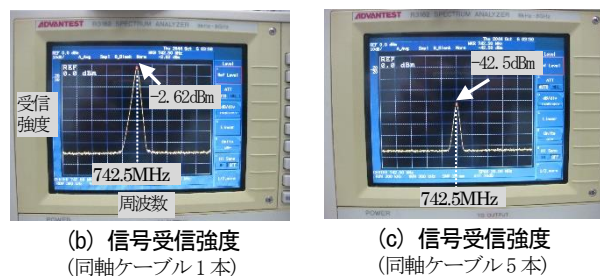
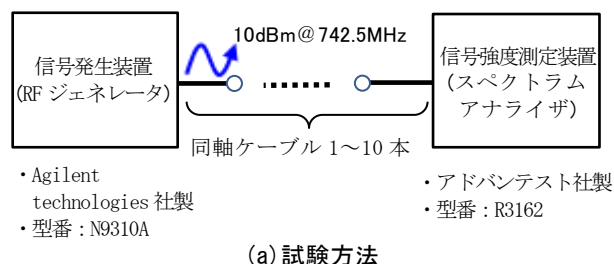


図4 低周波同軸ケーブルの減衰量測定試験

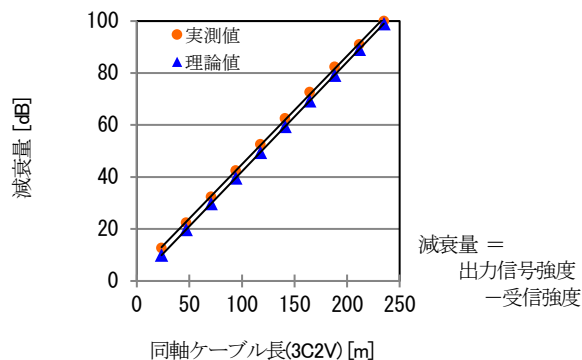


図5 低周波同軸ケーブル減衰量測定試験結果

(2) HD-SDI 信号伝送試験

HD-SDI 信号の低周波同軸ケーブルにおける伝送距離を測定するため、同軸ケーブルの接続本数を増やしなが、HD-SDI カメラ映像をモニタ表示し、その状態を確認した。

EX-SDI 変換器を接続しない場合は、ケーブル減衰量 32.4dB(現場敷設ケーブル長 150m 相当)まで映像が映ることを確認できたが、現場では十分な距離ではなく、伝送距離の延長が必要である。

EX-SDI 変換器を付加した場合は、ケーブル減衰量 82.3dB(現場敷設ケーブル長 400m 相当)まで映像が映ることを確認できた。同変換器を付加することにより伝送距離が 2 倍以上延長できることを確認できた。(図 6, 表 2)



図 6 HD-SDI 信号伝送試験状況(ラボ)

表 2 HD-SDI 信号伝送試験結果(ラボ)

ケーブル長[m]		カメラ映像状態 (○:良好 ×不良)		ケーブル減衰量 (実測値) [dB]
3C2V (試験用)	7C2V※ (現場)	EX-SDI 変換器 無	EX-SDI 変換器 有	
23.5	50	○	○	12.6
47	100	○	○	22.4
70.5	150	○	○	32.4
94	200	×	○	42.5
117.5	250	×	○	52.5
141	300	×	○	62.5
164.5	350	×	○	72.6
188	400	×	○	82.3
211.5	450	×	×	91.0
235	500	×	×	100

※現場ケーブル長は、7C2V ケーブルの減衰量から算出した推定値

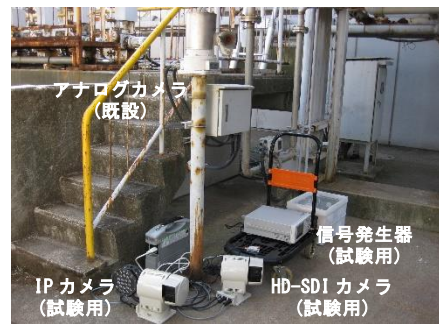
4.2 現地試験

現場敷設している低周波同軸ケーブル 4 本を選定して両端を解線し、現場カメラ側に信号発生器を、制御室側に信号強度測定装置を接続して、ケーブル減衰量を測定した。またあわせて、HD-SDI カメラ、IP カメラを接続した場合の映像伝送状態や

カメラ制御状態も確認した。なおカメラ接続時には、それぞれ変換器を付加している。(図 7)

表 3 に試験結果を示す。ケーブル減衰量 81dB(地点 C)までは、HD-SDI カメラ、IP カメラの映像状態、カメラ制御状態とも良好であった。減衰量が 88dB である地点 D では、HD-SDI カメラ映像は映らず制御もできなかったが、IP カメラは映像・制御とも良好であった。前述のラボ試験においても、ケーブル減衰量 82.3dB の場合は良好で、91dB ではカメラ映像が映らなかったことより、ほぼ同様の試験結果となった。(表 3)

これらの試験結果や、同軸ケーブルの経年劣化等による減衰量増加を考量し(尤度 20dB 程度)、統合 ITV ではケーブル減衰量が 62.5dB(距離換算 300m)以内であれば HD-SDI カメラを適用し、それ以上において IP カメラを適用することとした。



(a) 試験状況(現場カメラ側)



(b) 試験状況(制御室側)

図 7 HD-SDI 信号伝送試験状況(現地)

表 3 HD-SDI 信号伝送試験結果(現地)

試験 個所	ケーブル 減衰量 [dB]	HD-SDI カメラ ※1		IP カメラ ※2	
		映像	制御	映像	制御
地点 A	48	○	○	○	○
地点 B	58	○	○	○	○
地点 C	81	○	○	○	○
地点 D	88	×	×	○	○

○:良好 ×:不良

※1 ミカミ製 PTC-113-HDSDI ※2 ミカミ製 PTC-113-HDIP

5. 低周波同軸ケーブルを活用したデジタル化時のカメラ構成

低周波同軸ケーブルを流用したまま既設アナログカメラを HD-SDI カメラや IP カメラに取替える場合は、既存のアナログ映像切替器 (NTSC 方式) をデジタル映像切替器 (HD-SDI 方式) に取替え、変換器を付加することで取替可能となる。なお、カメラの取替は任意のカメラ 1 台単位でできるほか、取替時に再度アナログカメラを選定することもできる。それぞれの方法を以下に記載する。

5.1 既設アナログカメラ活用方法

映像変換器を用いて NTSC 信号を HD-SDI 信号に変換し、デジタル映像切替器に入力することで、既設のアナログカメラと低周波同軸ケーブルを活用することができる。なお、カメラ制御信号を映像信号に重畳し、同軸ケーブルで伝送する重畳器は既設流用が可能である。(図 8-①)

5.2 デジタルカメラへの取替方法

既設同軸ケーブル長が 300m 未満の場合は HD-SDI カメラを、それ以上の場合は IP カメラを選定し、各変換器 (EX-SDI 変換器 / LAN・同軸変換器) を付加することで、低周波同軸ケーブルを活用したデジタルカメラへの取替が可能である。

各変換器は、カメラ制御信号の重畳機能も有しているため、重畳器の設置は不要である。また IP カメラは、前述の映像データ変換器の付加が追加が必要となる。(図 8-②)

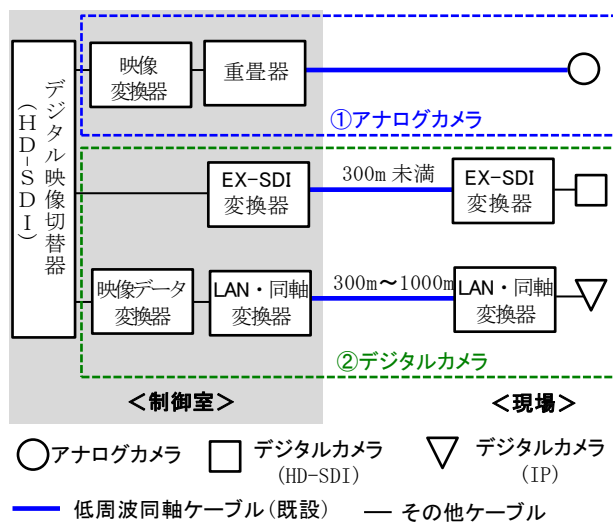


図 8 デジタル化時のカメラ構成

6. 統合 ITV システム製作

6.1 ハードウェア

統合 ITV の外観を図 9 に、概略を図 10 に示す。カメラ 58 台のうち、流用している 2 号 ITV 用アナログカメラ (計 36 台) は、将来的に HD-SDI カメラへの置換も可能である。(表 4) 全ての ITV モニタ (12 台) に任意のカメラ映像を出力することができ、操作 PC (5 台) それぞれから映像切替やカメラ操作が可能である。

操作 PC のカメラ操作信号は、制御 PC に送信され、それらに対応するカメラ毎の制御信号に変換した後、カメラへと送信している。また制御 PC は予備機を 1 台有しており、制御 PC1 にトラブルが発生した場合は、自動で制御 PC2 に制御が移行する。

なお、概略図には、現在のシステム構成 (既設機器・新設機器) に加え、将来的なデジタルカメラへの取替・増設時の機器構成も記載している。



(a) モニタ



(b) ITV 制御装置

図 9 統合 ITV システム外観 (工場試験時)

表 4 カメラ設置台数 [台]

カメラ設置箇所	アナログカメラ		HD-SDI カメラ	
	固定	旋回	固定	旋回
新 1 号 ITV	0	0	11	0
2 号 ITV (主要設備)	19	8	10	1
2 号 ITV (周辺設備)	2	7	0	0

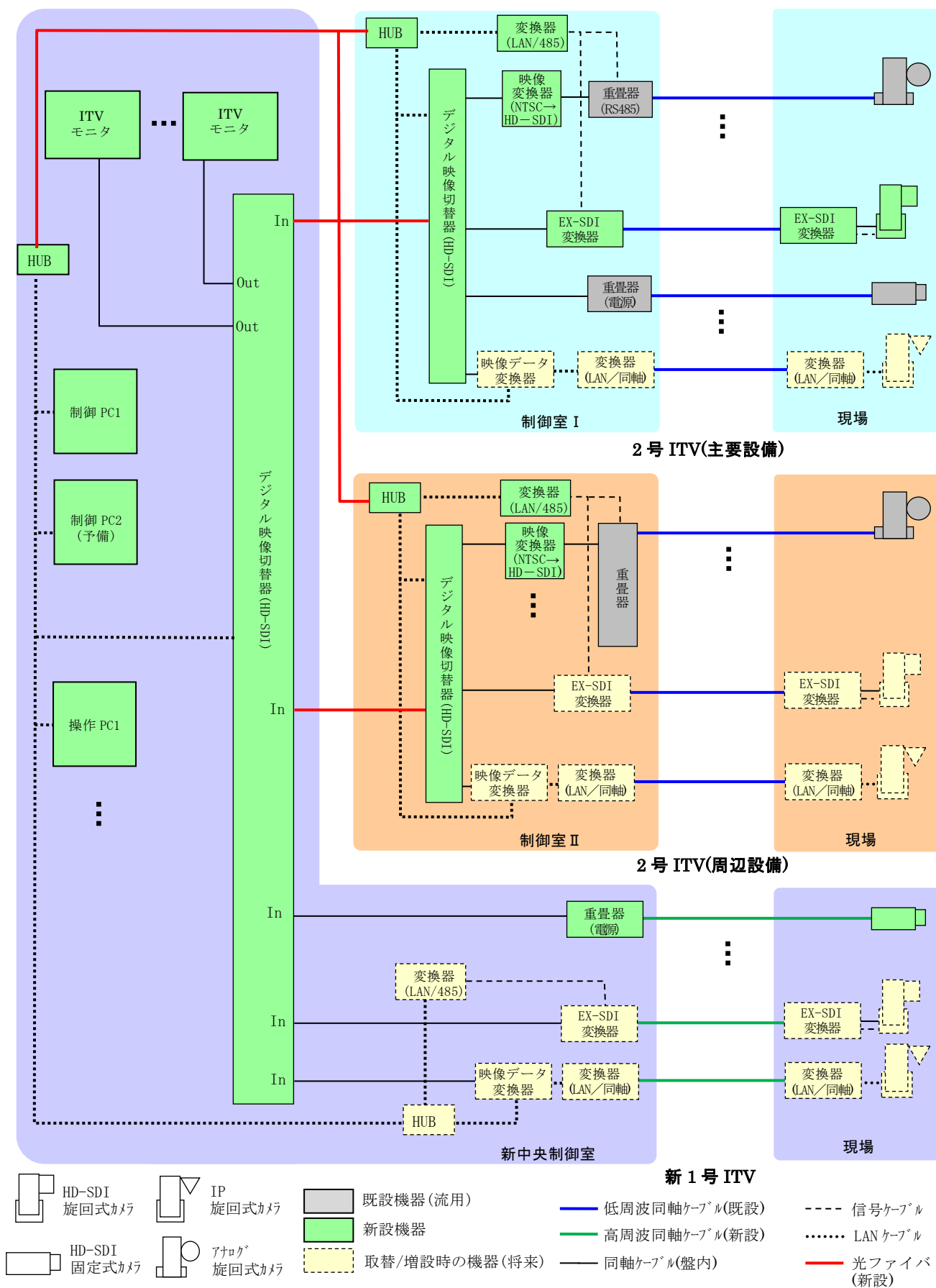
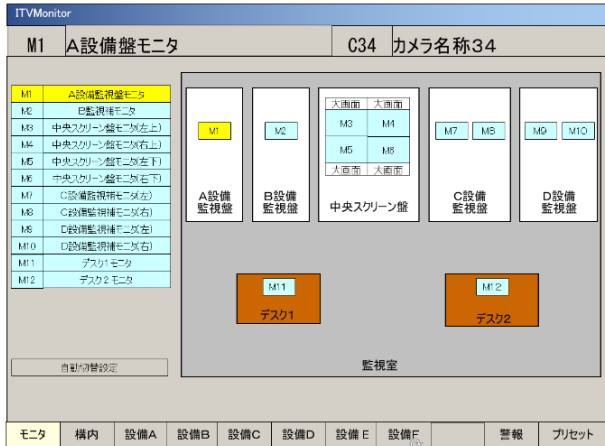


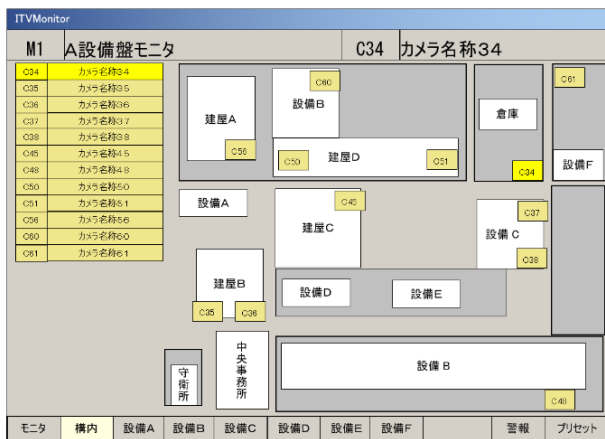
図 10 統合 ITV システム構成概略図

6.2 ソフトウェア

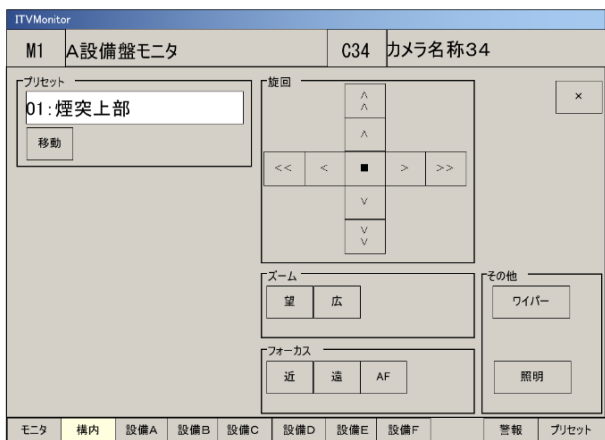
製作したソフトウェアは、ITV 操作ソフトウェア(操作 PC 用)と、ITV 制御ソフトウェア(制御 PC 用)に分かれている。ITV 操作ソフトウェアの主要画面イメージを図 11 に示す。



(a) ITV モニタ 選択画面



(b) カメラ 選択画面



(c) カメラ 操作画面

ITV モニタ選択画面(図 11-(a))より、カメラ映像を出力したい ITV モニタを選択した後に、構内カメラ配置図が表示されたカメラ選択画面(図 11-(b))にてカメラを選択する。選択すると、デジタル映像切替器が制御され、その映像が所定の ITV モニタに表示される。

選択したカメラが旋回式カメラの場合、自動でカメラ操作画面に切替り、所定のカメラ操作ができる。このカメラ操作画面はカメラ機種によらず同様であるため、ユーザはカメラ種別の違いを意識することなくカメラ操作が可能である。

(図 11-(c))

またプリセット機能も有しており、所定の場所を事前に登録することで、その場所を選択すると、カメラの自動旋回が可能である。

7. まとめ

汎用デジタル方式をベースとし、低周波同軸ケーブルを活用してアナログカメラ・デジタルカメラが任意に適用可能な統合 ITV システムの設計を行い、基本仕様を全て満たしていることを確認した。

統合 ITV システムは、西条発電所新 1 号機運転開始時に、実運用を開始する予定である。

【謝辞】

本研究は、四国電力(株)火力部殿からの委託を受けて実施したもので、発電所をはじめご協力いただいた関係各位に深謝する。

【参考文献】

- 1) 土田雅彦, 海稻隆成: “既設アナログカメラなどを活用したプラント監視カメラシステムのデジタル化”, *Electrical Review*, Vol.107, No.4, pp.46-50 (2022)
- 2) (一社)電波産業会「1125/60方式HDTV信号のビット直列インターフェース規格」

図 11 統合 ITV ソフトウェア主要画面