給水用ポリエチレン管の耐久性評価 (破壊メカニズムの解析及び評価方法の紹介)

平成 30 年 5 月

り日本ポリエチレンパイプシステム協会

はじめに

給水用ポリエチレン管は、JIS K 6762 として 1959 年に規定され、その軽量で可とう性 に優れ、地震に強く、更に腐食しないという利点から幅広く利用されてきた。これ等給水用 ポリエチレン配管において、単層管では敷設後約 60 年余が経過し破壊事故が散見されて いる。また単層管で問題となった内面水泡剥離現象を回避するための対策として開発 された二層管では約30年が経過しその使用実績も増大した。

良く知られている様に、給水用ポリエチレン管は一旦地中に埋設されると補修や取り 換えが非常に困難(技術的、コスト的に)である。水道事業体は、その財政面の厳しさ から容易に管路の更新、或いは補修等を実施することが難しくなっており、これ等配管の 維持、管理の観点より今後の使用可能期間に強い関心を示している。従って協会として これ等の関心事への説明の要が生じている。特に、現状の単層管破壊の状態が材料劣化の 影響をどの程度まで受けているのか、またその水道用ポリエチレン単層管、及び水道用 ポリエチレン二層管の残存寿命がどの程度まであるのかを報告することが求められている。

これ等の背景を踏まえ、2012年より京都工芸繊維大学西村研究室と日本ポリエチレン パイプシステム協会は耐久性及び長期強度評価に関する共同研究を実施した。ここに本共 同研究の研究結果に関し報告するものである。

尚、報告書は以下の五部より構成される。

① 第一部:給水用ポリエチレン管の耐久性評価

【技術資料 No.17-01】

② 第二部:水道用ポリエチレン単層管の寿命予測

【技術資料 No.17-02】

③ 第三部:水道用ポリエチレン二層管の長期(100年)寿命の考察 【技術資料 No.17-03】

④ 第四部:水道用ポリエチレン二層管の寿命予測

【技術資料 No.17-04】

⑤ 第五部: 耐塩素水寿命に関する考察

【技術資料 No.17-05】

付記:第一部、及び第二部において記載内容に一部重複があるが、これは個々に各報告書 を利用した場合の利便性を考慮した事によるものである。

1.ポリエチレン管の破壊メカニズムの調査

一般的には、プラスチックは粘弾性体であるので、ポリエチレン管内部の流体の内圧や、 施工時または地盤変動時の曲げや土圧等の外力によりクリープ変形、亀裂の生成および成長 が起こり、最終的には管体の破損に至る。図-1にポリエチレン管の一般的なクリープ 破壊の概念図を示す¹⁾。ポリエチレン管の破壊形態は延性破壊、脆性破壊および化学劣化 による破壊に大きく分類される。延性破壊はクリープ変形により大きなひずみを伴う。 脆性破壊は低速亀裂成長破壊とも呼ばれて、一旦生成した亀裂が徐々に成長して破壊に 至る現象で、クリープ変形により生じるひずみが小さく脆性的に破壊する。化学劣化に よる破壊は温水用途の管に見られる現象で、高温下での長期間の使用により、ポリエチレン 管が劣化して低い応力状態でも急激に破壊する。



破壊までの時間 (log t)

図-1 ポリエチレン管の破壊形態

ガス、水道、下水道等のインフラ設備や温水用途の住宅設備に使用されてきたプラスチック 管が経年的にどのように劣化していくのかを、不具合事例の文献調査や使用された管を 回収して調査することは重要である。報告されている文献から事例について述べる。まず、 米国にて 25 年間使用された水道管(高密度ポリエチレン管)の破壊事例が報告されている。 **写真-1**にクリープによる脆性破壊が発生した管断面と内面の拡大写真を示す。管内面に 約 125 μ m 深さの劣化層が存在して、微細な亀裂が生成し、内圧により管の長手方向に亀裂 が成長し、管内面から管外面に貫通していた。管の内面層は酸化劣化が確認され、酸化誘導 時間はほぼゼロに近く、酸化防止剤はほとんど消費されていた。²⁾



写真-1 水道用ポリエチレン管(高密度PE)の破壊事例(米国)

米国にて 1970 年代の初頭に埋設されたガス用ポリエチレン管(中密度ポリエチレン管) の破壊事例が報告されている。**写真-2**にクリープによる脆性破壊が発生した管断面と内面 の拡大写真を示す。ポリエチレン管が土中埋設時に岩石と強く接触(Rock Impingement) しており、管内面に亀裂が生成し、内圧により亀裂が管内面から管外面に進み貫通して いることがわかった。岩石との接触は管外面であるが、亀裂の生成は管内面であることが 興味深い。³⁾



写真-2 ガス用ポリエチレン管 (中密度PE)の破壊事例 (米国)³⁾

写真-3にガス用と同様に米国にて水道用ポリエチレン管が土中埋設時に岩石と強く接触 した場合に5~30年の使用期間で発生した破壊事例を示す。岩石と接触した管内面に 応力集中点が存在し亀裂が生成し、内圧により亀裂が管内面から管外面に進み貫通して いることがわかる。



写真-3 水道用ポリエチレン管の破壊事例(米国)

2. ポリエチレン管の劣化の評価方法

ポリエチレン管の劣化とは酸化劣化を意味し、酸素と接する管表面で除々に分解が進行し、 表面から分子切断による分子量の低下や架橋が起こり、表面層の脆化や、微細なクラック が発生する。この様な状態下で応力が負荷されると大きなクラックへと進展し管の脆性破壊 へと繋がる。この様な酸化劣化を防止するために種々の酸化防止剤が添加される。従って、 以下の評価方法を用いて酸化防止剤の残存の有無、表面の架橋、酸化劣化の有無確認、 破面観察、及び表面クラックに起因する破断点伸びの低下等の把握が破壊メカニズムの推定 の基本となる。

2.1 フーリエ変換赤外分光法(FT-IR)

赤外分光分析によりその測定されたスペクトル中、1700cm⁻¹ 付近に樹脂の酸化官能基で あるカルボニル基(C=O) に起因する吸収があれば、酸化が生じていることを示し、また 1000cm⁻¹ 近傍にアルキル基(=C-H) に基づく吸収が存在すれば、架橋が発生していること が分かる。本法は、酸化劣化を評価する基本方法である。

2.2 酸化誘導時間(Oxidation Induction Time)

破壊した管より採取した試料について、ISO 11357-1 及び ISO 11357-6 に従い OIT を 測定する。OIT 測定結果は、異なる安定剤処方の比較、及び長期耐酸化性を予測する事 には適用できないが、使われている安定剤の耐酸化性低下の程度を評価する場合には利用 できる。

2.3 引張試験

引張特性(降伏点強度、破断点強度、破断点伸び)を求め劣化の有無を評価する。 測定は JIS K 6815-1、JIS K 6815-3 に従って行う。

2.4 破面解析

破壊した管の破面を、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡(SEM)を用い、その破面を詳細 に観察する事により、破壊の状況、即ち破壊がどの様な条件の基で、どの様に進展したかを 推定する。

3.水道用ポリエチレン単層管の現場破壊事例

上述の劣化評価方法を用い、現場破損した水道用ポリエチレン単層管の解析事例を以下 に示す。

3.1 現場破壊事例-1

A市の給水管として昭和54年(1979年)に敷設し、34年間使用された水道用ポリエ チレン単層管1種(呼び径13)の破壊事例を示す。この事例は、上部からガス用ポリエチ レン管により水道用ポリエチレン単層管が圧迫された事例である。

1) 対象管

- ・昭和54年(1979年)に敷設し34年間使用した呼び径13の軟質ポリエチレン単層管(製造メーカー不明)。
- ・当該管は管軸方向に約 40mm の亀裂あり。
- ・ 亀裂部(ガス用ポリエチレン管との接触部分)
 に凹みがある。
- ・管が膨張することなく亀裂が生じている。



写真-5 管外観(亀裂長さと凹み深さ)

2) 寸法調査

外径 21.62mm、肉厚 3.37mm(呼び径 13 の規格寸法内)

3) FT-IR 分析

回収品の管外面(側面)と管内面(内面)のFT-IR分析を実施し、両者の差スペクトル を求めた。図-2で管の樹脂材料にもともと含まれない C=O及び OH の吸収ピークが管内 面の 1700cm⁻¹ 付近(C=O)、及び 3300cm⁻¹ 近傍(OH)に見られ、酸化劣化が生じてい ることが確認できた。また 1000cm⁻¹ 付近に =C-H(架橋)が見られた。このことから管内 面の樹脂に水道水中の残留塩素による酸化劣化やそれに起因する架橋が発生していること が示唆される。



図-2 IR スペクトル

4)酸化誘導時間(OIT)の測定

管の内表面、中央部および外表面から、5mg 程度の試験サンプルを切り出し、窒素雰囲 気中にて 200℃まで昇温後、酸素雰囲気中に切り替えて、試験サンプルが酸化を開始する までの時間を測定した。結果は、内表面で 0.58min、外表面は 0.72min、及び管肉厚中心 部では 2.35min であった。これから管内外表面にはほとんど酸化防止剤が残留していないが、 管肉厚中心部には酸化防止剤が存在していることから、酸化劣化の進行は少ないものと 考えられる。

5) 引張試験

回収品より小型ダンベル片(厚み3.5mm、幅3mm、平行部長さ20mm)を切り出し、 引張速度50mm/minで、室温中で引張試験を実施した(図-3)。降伏応力10.9MPa(この 値は当時の基準値(9.8MPa)を満足している)、破断応力11.4MPa破断伸び580%を示した。 破断伸びについては、新品と比較しないと経年的な変化を求めることはできないが、580% の値は一般的な低密度ポリエチレンと比較して遜色はない。従って、管肉厚中心部のOIT 値も併せて考慮すると管自体の機械的な健全性は失われていないと判断できる。



6) 光学顕微鏡、及び SEM 観察

写真-5から明らかな様に、管表面に管軸やや斜め方向に亀裂があり、亀裂部表面に ガス用ポリエチレン管に押さえつけられた圧痕が存在している。



写真-5 管外観(亀裂長さと凹み深さ)

写真-6に管内面の拡大写真(超音波洗浄後)を示す。管内面に薄い皮が剥がれたような 層が見られ、剥がれた層の表面にも白く変色した部位が多数観察された。淡い褐色部は 超音波洗浄後の残存している錆付着部と思われ、管内面全体に、微細なクラックが見られる。



写真-6 管内面の拡大写真

亀裂部断面写真(**写真-7、8**)より、管内面から複数の亀裂の生成、成長、合体、 管貫通の模様が見られる。更に、亀裂断面部の SEM 観察により複数の亀裂は管内面の微細 なクラックを起点として、内圧により生成したと思われる。**写真-3**に示した様に、岩石 等の集中荷重による亀裂の生成と成長の場合、管内面に発生応力が最大になる箇所が存在し、 亀裂の生成は1箇所である。一方、**写真-9**(参考)の様に管内面の微細なクラックを起点 として、内圧による亀裂は複数生成し、合体しながら成長する。これは内圧によるクリープ 亀裂の不連続成長と言われている。ガス用ポリエチレン管との接触後、亀裂が生成した とは考えにくいが、この接触により内面の発生応力が高くなり、クリープ亀裂の成長が 早まった可能性は考えられる。



写真-8 亀裂部断面(SEM 観察)



写真-9(参考) 内圧による複数亀裂の生成と成長(米国)³⁾

7)まとめ

本事例は、FT-IR、OIT、亀裂部の管外観及び破面観察から、いわゆる静水圧試験で得られ るクリープ線図の第2ステージ(脆性破壊領域)に分類される破壊様式である(図-1参照)。 分析の結果、漏水に至る過程は経年使用に伴う酸化防止剤の消失により多数の微細な クラックが管内表面に発生、ガス用ポリエチレン管の圧迫により生じた応力を駆動力として これ等の微細なクラックが成長、合体、最終的に管壁を貫通し漏水に至ったと推定された。

3.2 現場破壊事例-2

B市の給水管として昭和54年(1979年)に敷設し、31年間使用された水道用ポリエ チレン単層管1種(呼び径40)の破壊事例を示す。

1) 対象管

- ・昭和54年(1979年)に敷設し31年間使用した呼び径40の軟質ポリエチレン単層管 (製造メーカー不明)。
- ・当該管は管軸方向に約25mmの亀裂あり。
- ・管が膨張することなく亀裂が生じている。



(回収品の外観)

(亀裂箇所の拡大)

写真-10 漏水・亀裂個所

2) 寸法調査

外径 48.1mm、肉厚 6.2mm(呼び径 40 の規格寸法内)

3) FT-IR 分析

回収品の管内面と肉厚中心部のFT-IR分析を実施し、両者のIRスペクトルを求めた。 管内面の1700cm⁻¹付近にカルボニル基(C=O)に起因する吸収が見られる。一方、肉厚 中心部では観察されなかった。この事は管内面に酸化劣化が生じていることを示唆している。



図-4 IR スペクトル(上:管内面側、下:肉厚中心部)

4) 引張試験

回収品より小型ダンベル片を切り出し、引張速度 200mm/min で、23 ± 2℃で引張試験 を実施した。降伏応力11.5MPa(この値は当時の基準値(9.8MPa)を満足している)であった。 降伏応力のみの測定であるが、現場亀裂事例-1の場合と同様に管自体の機械的な健全性 は失われていないと思われる。

5)光学顕微鏡、及び SEM 観察



写真-11 亀裂部の外観及び断面



写真-12 亀裂断面 10 倍拡大(SEM 観察)



写真-13 亀裂断面(SEM 観察)

破面全体を SEM 解析した結果、管内面側の起点部と思われる A 部付近から外側へ亀裂が 進行している様子が、黒矢印に沿って同心円状に広がる貝殻模様(ビーチマーク)により 観察された。(**写真-12**)

さらに拡大した結果、起点部から脆性的に破壊している様子が、亀裂の初期段階を示す 鏡面領域(亀裂が非常にゆっくりと進展する領域)により確認された。(**写真-13**の右側 写真)また、起点部A付近には水泡剥離が2ケ所確認された。(**写真-13**の左側写真)

鏡面領域及びビーチマークが観察されたことから推察すると、起点部Aから亀裂が発生し、 非常にゆっくりとした亀裂速度をもって外面に向かって亀裂が進行し、鏡面領域⇒遷移領域 (脆性破壊)⇒粗面領域(延性破壊)へと亀裂が進展するに従って、亀裂速度が増大していく ことが分かる。

6)まとめ

FT-IR 分析、及び破面観察、漏水発生時の状況から、本事例も事例-1と同様に、内面の 酸化劣化に起因する微細なクラックが、何らかの局所的な応力を駆動力として成長し管の 破損に至ったものと推定される。

3.3 現場破壊事例-3

C市において、給水管として昭和51年(1976年)に敷設され、33年間使用した水道用 ポリエチレン単層管1種(呼び径25)の破壊事例を示す。

1) 対象管

- ・昭和51年(1976年)に敷設し33年間
 使用した呼び径25の軟質ポリエチレン
 単層管(製造メーカー不明)。
- ・当該管は管軸方向に直線状の約 35mm の 亀裂あり。
- ・管が膨張することなく亀裂が生じている。



写真-14 漏水・亀裂個所

2) 寸法調査

外径 34.2mm、肉厚 5.1mm (呼び径 25 の規格寸法内)

3) FT-IR 分析

回収品の管内面と肉厚中心部のFT-IR分析を実施し、両者のIRスペクトルを求めた。 管内面の1700cm⁻¹付近にカルボニル基(C=O)に起因する吸収が見られる。一方、肉厚 中心部では観察されなかった。この事は管内面に酸化劣化が生じていることを示唆している。





図-5 IR スペクトル

4) SEM 観察

(外面側)



(内面側)

写真-15 亀裂断面(SEM 観察)

5)まとめ

本事例に関しては、関連情報が少なく破壊へ至る過程を考察する事は難しいが、恐らく 現場破壊事例-1と同様に内表面の酸化劣化に起因する微細なクラックが起点となり、 クリープ亀裂の成長、いわゆる低速亀裂成長(SCG、Slow Crack Growth)と呼ばれる脆性 破壊によるものであると考えられる。

3.4 現場破壊事例-4

昭和 56 年(1981 年)に敷設され、33 年間使用した水道用ポリエチレン単層管1種 (呼び径 20)の破壊事例を示す。

1) 対象管

- ・昭和 56 年(1981 年) に敷設し 33 年間使用した呼び径 20 の軟質ポリエチレン単層管 (製造メーカー不明)。
- ・当該管は管軸方向に約4mmの亀裂あり。
- ・管が膨張することなく亀裂が生じている。

2) 寸法調査

外径 27.0mm、肉厚 4.1mm (呼び径 20 の規格寸法内)

3) FT-IR 分析

回収品の管外面(側面)と管内面(内面)のFT-IR分析を実施し、両者の差スペクトルを求めた。管内面の1700cm⁻¹付近のC=O、3300cm⁻¹付近のOHの吸収ピークが大きいことから、管内面の樹脂に化学劣化が発生していることが示唆される。



4) 顕微鏡観察

管表面の管軸方向に亀裂があり、亀裂部表面から約 30 度ずれた管表面に押さえつけられた 圧痕が存在している。

写真-16 亀裂部外観

管内面は比較的平滑で、薄い皮が剥がれたような層は見られなかった。ただし、埋設時 に下部に位置する内面側には錆付着しており、長手方向に水の流れにより削れたような 痕跡が見られた。

管内面から、主に2箇所の亀裂の生成、成長、合体、管貫通の模様が見られる。複数の 亀裂は管内面の微細な亀裂を起点として、内圧により生成したと思われる。



写真-17 亀裂部断面

5)酸化誘導時間(OIT)の測定

管の内表面、肉厚中央部および外表面から、5mg 程度の試験サンプルを切り出し、窒素 雰囲気中にて 210℃まで昇温後、酸素雰囲気中に切り替えて、試験サンプルが酸化を開始 するまでの時間を測定した。

| 測定部位 | 酸化誘導時間 (OIT) (min) |
|-------|--------------------|
| 内表面 | 1.3 |
| 肉厚中央部 | 39.1 |
| 外表面 | 4.4 |

表-1 OIT測定結果

管の内表面および外表面の添加剤の消費が進んでいることがわかった。ただし、管の肉厚 中央部では酸化誘導時間が長く、添加剤が残存していると思われる。

6) 引張試験

回収品より小型ダンベル片(厚み 4mm、幅 5mm、平行部長さ 15mm)を切り出し、引張 速度 50mm/min で、n=3 で、室温中で引張試験を実施した。

| 試験片 | 降伏応力 (MPa) | 破断伸び (%) |
|-----|------------|----------|
| 1 | 脆性 | 軸方向 40mm |
| 2 | 脆性 | 軸方向 25mm |
| 3 | 脆性 | 軸方向 35mm |
| 平均值 | 13.4 | 187 |

表-2 引張試験結果

降伏応力には大きな違いはなかったが、破断伸びは多少バラツキがみられた。破断伸びの 平均値は、一般的な LDPE よりもかなり小さく、回収品が経年的に劣化していると思われる。

7)まとめ

本事例も上述例と同様に内表面の酸化劣化に起因する微細なクラックが起点となり、 クリープ亀裂の成長、いわゆる低速亀裂成長(SCG、Slow Crack Growth)と呼ばれる脆性 破壊によるものであると考えられる。

4. ポリエチレン管の耐久性評価方法

ポリエチレン管の長期耐久性を評価する方法として以下の2方法が規格化されている。

4.1 内圧クリープ試験法

定圧で長時間ポリエチレン管を保持した場合クリープ変形が進行する。この進行現象は 高温ほど促進される。この現象に基づいた長期強度評価法が、内圧クリープ試験法として ISO 1167-1、ISO 1167-2⁵⁾に、また得られたデータの解析については ISO 9080⁶⁾、 更に解析データに基づく長期強度の分類法に関しては ISO 12162⁷⁾が規定されている。 図-7にクリープ線図を、また図-8に内圧クリープ試験装置を示す。



図-7 クリープ線図 5)



図-8 内圧クリープ試験装置

温度 80℃にて、負荷応力と破壊までの時間との関係を調べると、ある応力域を境にして 「延性破壊」から「脆性破壊」に移行することがわかる。埋設管の実際の破壊形態は、欧米 での実績から、主に低応力が負荷された状態での亀裂の成長によるこの脆性破壊(所謂 低速亀裂成長)であると報告(例えば Gas Technology Institute Report8)されている。 また、本報告書に記載した国内に於ける現場破壊事例の解析も同様の結果を示している。

20℃の常温下での破壊寿命を予測する方法の一つは、10⁴時間程度では脆性破壊は 確認されていないが、10⁴時間までの常温内圧クリープ試験の延性破壊データを蓄積し、 50年間(4.38×10⁵時間)の強度を直線外挿により求めることである。もう一つの方法は、 Larson – Miller が鋼のクリープ寿命について行ったアレニウスの式を適用することで ある。破壊強度は温度依存性を有するので、内圧クリープ試験による任意の2つの高い 温度レベルでの脆性破壊線図から常温下での破壊寿命を予測することができる。

4.2 全周ノッチ式引張クリープ試験法

しかしながら、ポリエチレン樹脂の性能改良と共に、内圧クリープ試験にて、80℃での 脆性破壊線図を求めるには、1年間以上かかり、60℃では、10⁴時間を経過しても脆性破壊 が発生しないことがわかった。

そこで、ポリエチレン管に傷(ノッチ)を入れ、一定荷重を負荷し、破断までの時間を 測定する試験方法(全周ノッチ式引張クリープ試験法⁸⁾)が ISO 16770 として規定され、 内圧クリープ試験に於ける脆性破壊評価の代替試験法として、実用化されてきた。

写真-18に全周ノッチ式引張クリープ試験装置、**図-9**に試験片をそれぞれ示す。



写真-18 全周ノッチ式引張クリープ試験装置



図-9 全周ノッチ式引張クリープ試験片

全周ノッチ式引張クリープ試験は、管の長手方向から切り出した短冊状の試験片の中央部 にカミソリによるノッチを全周に設けて、応力集中効果をもたせている。

ポリエチレン管の表面に埋設時に傷がつき、埋設後不等沈下等で、曲げ歪が付加された 場合、傷が成長して管を貫通するまでに何年かかるか、あるいは継手の形状が不連続で ある応力集中部で亀裂が生成し、継手を貫通するまでに何年かかるかを予測することは 実際の配管システムの耐久性評価として重要である。全周ノッチ式引張クリープ試験法を 用いて、寿命予測が行なわれてきた。角棒状の試験片の全周に鋭いかみそり傷を入れる ことは、ポリエチレン管の外面と内面の全周に傷が入っているのと同様で非常に厳しい 応力集中状態を想定している。この試験片に引張荷重を付加し、温度を80℃、65℃に 上げて、破壊するまでの時間を測定する。

5.まとめ

給水用ポリエチレン管の長期使用に伴う材料の劣化評価に関し、化学的、光学的、機械的 側面より、またインフラ設備として土中埋設された場合、それ等はどの程度の寿命を有する のかの観点より現在規格化されている強度評価方法を紹介した。本報にて報告した内容を 今後の配管設備の健全性維持に利用頂ければ幸甚である。

6. おわりに

本研究実施に際し、終始ご指導頂いた京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科、西村教授、 並びに給水用ポリエチレン埋設管サンプルをご提供頂いた水道事業体の方々にお礼を申し上げます。

7.参考文献

- 1) ガス用ポリエチレン管技術資料、日本ガス協会, pp.30-32 (2006)
- 2) 西村寛之、本間秀和:マテリアル学会誌 24(2)、pp.51-55(2012)
- 3) D.E.Duvall and D.B.Edwards : SPE-ANTEC2011, pp.1436-1441 (2011)
- 4) Final Report "Plastics pipe Failure, Risk, and Threat Analysis" GTI Project Number 20385, (2009)
- 5) **ISO 1167-1,-2** Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids Determination of the resistance to internal pressure Part 1;General method Part 2;Preparation of pipe test pieces
- 6) **ISO 9080** Plastic piping and ducting systems Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation
- 7) **ISO 12162** Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications-Classification, designation and design coefficient
- 8) **ISO 16770**:2004 Plastics Determination of environmental stress cracking (ESC) of polyethylene pipes under displacement Full-notch creep test (FNCT)

給水用ポリエチレン管の耐久性評価 技術資料

| | 平成 30 年 9 月 3 日 初版発行 |
|----|------------------------------------|
| 編集 | 日本ポリエチレンパイプシステム協会 技術委員会 |
| 発行 | 日本ポリエチレンパイプシステム協会 |
| | 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町3丁目3番2号 |
| | TEL 090-3302-3725 FAX 03-5695-3189 |
| | 非売品 不許転載 |

本技術資料記載の内容については変更することがありますのでご了承ください