静電容量式ボイド率計の高温高圧条件への適用研究*

渡辺 博典^{*1}, 光 武 徹^{*2}
柴田 光彦^{*1}, 高瀬 和之^{*3}

Experimental Study on Capacitance Void Fraction Meters for High Temperature and High Pressure Conditions

Hironori WATANABE^{*4}, Toru MITSUTAKE,
Mitsuhiko SIBATA and Kazuyuki TAKASE^{*4} Japan Atomic Energy Agency,
2-4 Shirakatashirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195 Japan

The electro-void fraction meter (Capacitance type meter) was applied to higher pressure conditions of 18 MPa than BWR operating conditions of 7 MPa. The void fraction measurement system has been developed including the electrodes of void fraction measurement, instrumentation cables with mineral insulation and simplified electric circuit to provide good signal-to-noise ratio. It satisfied the performance of thermal and pressure resistance and electric insulating capacity. Calibration function for high temperature and high pressure conditions was confirmed through calibration test with 37-rod bundle against datum 19-rod bundle by the quick-shut valve method respectively under 2 MPa conditions. It was confirmed that the measured data were consistent with those measured by the quick-shut valve method.

Key Words: Void Fraction, Gas-Liquid Two-Phase Flow, Boiling, Internal Flow, Electrode

1. 結 言

流路チャンネル内の気相が占める体積率(ボイド率)は、気液二相流の諸特性を明らかにするために重要な特性量であるため、様々な計測が行われてきた⁽¹⁾⁻⁽³⁾。原子力開発分野においては、高温高圧条件下の計測となるため流路内にプローブを設置することが難しいことから、X線やγ線などの放射線を用いたボイド率測定法が開発されてきた⁽²⁾⁽³⁾。しかし、計測系が高価となることや設置場所が限られることなどのため、より実用的な手法が求められていた。

軽水炉や新型炉の設計開発に適用可能なボイド率測定手法は高温高圧条件下において次の特性を有することが望まれる。

- (1) 純水環境中で使用できること。
- (2) ボイド率測定範囲はほぼ0~100%であること。
- (3) 瞬時(リアルタイム)に測定できること。
- (4) 計測電極サイズが小さく、微弱信号となる場合でもSN比が確保されること。
- (5) 局所計測だけではなく流路断面の大域的なボイド率が測定できること。

著者らは、沸騰水型軽水炉(BWR)炉心圧力条件(7MPa)に

おいて、流体の電気抵抗を測定する電気抵抗検出型ボイド率計(以下R計測法)を適用した。ボイド率は0.5sec.毎に測定し、核熱水力フィードバック効果を模擬して出力を変化させた⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。試験では検出感度上20μS/cm以上の導電性水質とするため、試験用水にヒドラジン溶液(NH₂)を混入した。これは50%以上のボイド率で電圧100Vに対して測定値が1mA以上になる導電率であるが、表面腐食により1ヶ月以上の耐用性がなかった。また、高ボイド率(70~80%以上)では電極間の水のパス(パーコレーション)が失われて信号が遮断されるため、測定範囲が限られるという課題があった。この課題を解決するため静電容量検出型(以下C計測法)を適用し、純水環境下の測定が可能となること、ボイド率測定範囲が拡大できることを示した⁽⁷⁾。

本研究では、高速増殖炉(FBR)の主要機器である蒸気発生器の熱水力設計の基礎データ取得のため、模擬試験ループ二次側水-蒸気二相流のボイド率測定方法の開発を行った。圧力はBWR炉心条件より高い18MPaであることからボイド率測定は著者の知る限り報告されたことがなかった。計測上の難点は7MPaまでの圧力条件に比べて飽和温度が高く、電極劣化の進行が早いこと、水-蒸気の密度比が小さくなることから測定信号レベルが低く、SN比が小さいなどが考えられた。そこで本研究では、C計測法を適用したボイド率計測電極部・信号線的设计、計測回路の簡素化を行い、圧力18MPa条件のボイド率を測定することができた。さらに、C計測法測定値の妥当性を確認するため、ボイド率測

* 原稿受付 2009年12月28日。

^{*1} (独)日本原子力研究開発機構(〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4)。^{*2} 正員, (独)日本原子力研究開発機構[現:(株)東芝(〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町8)]。^{*3} 正員, (独)日本原子力研究開発機構。

E-mail: watanabe.hironori@jaea.go.jp

定値と急速遮断弁法による測定値を比較したのでその結果を示す。

主な記号

- a_i : 気泡の投影面積 [m²]
- A_{x-s} : 流路面積 [m²]
- C : 静電容量 [F]
- C^* : 静電容量比 [-]
- $C(\alpha)$: ボイド率 α の静電容量 [F]
- d : 管径 [m]
- I : 電流 [A]
- j_g : 気相体積流束 [m/s]
- j_l : 液相体積流束 [m/s]
- R : 電気抵抗 [Ω]
- t : 時間 [s]
- z : 流れ方向の座標 [m]
- α : ボイド率 [-]
- ρ : 密度 [kg/m³]
- BWR : 沸騰水型原子炉
- FBR : 高速増殖炉

添字

- $\alpha=0, \ell$: 水単相状態
- $\alpha=100, g$: 気相単相状態
- o : 基準値
- $x-s$: 断面
- $T-S$: 試験部

2. C計測法によるボイド率測定 —高温高压条件への適用化—

2.1 単管試験装置 (18MPa 蒸気発生器流動試験装置) 試験部は高速増殖炉(FBR)の蒸気発生器細管を模擬した2重管構造の垂直細管で、流路内径11.6mm、全長12.6mのSUS製中空管であり、外周に設置した輻射加熱ヒータにより間接的に加熱される。図1に試験部構成と概観写真を示す。

2.2 ボイド測定部 軽水炉炉心模擬試験部⁽¹⁰⁾では電気絶縁用のセラミック製シュラウドを試験流路内面に対向するように取り付けたが、本試験では、細径管のセラミック製シュラウドの製作が困難であったので、図2に示すように流路内に対面するように一対の円板状電極(直径6mm、肉厚1mm)を流れ方向3ヶ所に設置した。図1下に差圧計測ノズルとともにボイド率計測ノズルを示す。図1下は、図2に示す円板上電極を計測ノズルに組み込んだ状態を示す。電極リード線は流れを阻害しないように細くし、流路部挿入線の外径は2mmとした。電極には交流抵抗計(LCR計)を用いて高周波定電圧を印加した。ボイド率は二相流のC成分の測定値から特性式に基づいて測定した。

(1) MI シース型電極 電極は耐高温・耐高压・電気絶縁性・耐久性を確保するため、絶縁材を装填し

たセラミック端子付MI (Mineral Insulator) シースを用いて設計した。図2にMIシース型電極写真を示す。電極検出部は2枚の電極を2mm間隔で対向設置した。信号取り出し線はシース型MIケーブルで、芯線が信号線である。電極側芯線と金属シースは一体構造であるため、電気絶縁確保上、電極近傍のシースに切れ目をいれてセラミック管で接合した。接合ではシースとセラミック双方に接合できる中間金属(コパール)を用いた。また、セラミックとシースは熱膨張率が等しく、熱応力に起因するクラック発生を防止できるので、高温耐久性が確保できた。電極製作の過程では複数体を試作し、高温高压オートクレーブで耐久性試験を行って上述の部材を決定した。これらの工夫により18MPaの条件下で電気絶縁性・高温高压耐久性が確保されることが確認された。

Fig.1 Test section and test condition ⁽¹³⁾

(2) 計測信号線 水単相時の静電容量測定値は圧力7MPa条件の20pFであるのに対して18MPaでは約1/20の1pF程度と小さく、測定が困難となる場合があった。信号線に生じる静電容量を消去する方法として知られているのは、インピーダンス補償式4端子信号線であるが、本計測体系ではこの種の補償式信号線を用いても計測が不安定となった。この理由は、C測定値が最大となる水単相状態でも1pF程度と小さく、信号線に微小静電容量が生じても影響を及ぼすためと考えられる。そこで、計測線長さを短縮化するため、測定位置の直近にLCR計を設置して信号線に生じる静電容量の影響を少なくした。

Fig. 2 MI sheath type electrode

(3) **計測回路の簡素化** 電極取り付け部の電気絶縁不良による計測信号の迂回により、内部構造物を介して計測信号が漏洩する可能性がある。そこで、計測信号の漏洩防止のため、計測機器電源を非接地として漏洩回路を遮断することに努めた。この過程を概念的な電気回路構成図として図3にステップごとに示す。図3(1)は漏洩対策前の状態を示す。 R_s は計測回路の電流を電圧信号として取り出すための基準抵抗であり、 V は基準抵抗の端子間電圧を示す。2つの静電容量 $C1$ と $C2$ は流路の二相流に相当する要素であるが、内部構造物を介し流路から接地回路に漏洩する経路の抵抗要素 RL を介して2分割される回路とした。また、 $R1$, $R2$ は電極取り付け部から迂回漏洩する抵抗要素を示し、 $R1$ は流路をバイパスする要素、 $R2$ は電極取り付け部と基準抵抗 R_s 間の抵抗要素を示す。図3(1)では $R1$, $R2$, RL が計測電流に対する計測誤差となっている。図3(2)は計測電源に絶縁型トランスを用いることにより迂回回路 RL を介しての信号漏洩がなくなる回路を示す。図3(3)は絶縁型電極(MI シース型)を採用することにより、電極取り付け部から迂回漏洩する抵抗要素 $R1$, $R2$ が除去されて迂回漏洩回路要素がなくなり、電極間の回路要素は流路中の静電容量 $C1$ だけとなる回路を示す。実際には流路の二相流中にも抵抗要素があるが、本計測ではインピーダンスの位相差を分離計測することにより、 C 成分を選択計測する手法を用いた。これにより、計測回路の簡素化が達成された。

SN 比を増大させる有効な対策には以下の方法も考えられる。

- ・ 円板電極間隔を小さくし、かつ、電極と細管内壁との間隔を増して計測信号の迂回漏洩を防止する方法。
- ・ 流路中心に円板電極を配置し、他電極として細管自体を電極とする電極対を採用して計測領域を増大させる方法。

(4) **計測用高周波電源** C 成分計測では、電極用印加電源の周波数が高いほど計測感度が向上するが、周波数帯域によっては不安定となることが実験的に確認されている⁽¹¹⁾。本計測体系では0.9MHz程度以下の周波数帯域で計測が不安定となった。この原因は計測

細管と電極で構成される相当回路で共振回路が形成されたためと考えられる。本計測では、信号が安定する電源周波数に1MHzを用いた。

Fig. 3 Conceptual electric circuit in measurement

2.3 高温条件下の気液单相データの取得

C 計測法は、気液二相流の静電容量がボイド率と共に変化する事を原理とする方法であり、0% (水单相) と 100% (蒸気单相) の C 測定値を基準値とする特性式を用いてボイド率を求める方法である。測定開始前に気液单相の C 測定値 C_g と C_l それぞれを演算式変換器に入力することにより、リアルタイムでボイド率を測定することができる。既報のバンドル試験装置⁽¹⁰⁾を用いた C_g と C_l の測定結果を以下に示す。

・ **水单相の C_l 測定結果** 高温になるほど、水の誘電率も小さくなる傾向があるので、水温変化を伴うボイド率測定では温度補正が必要となる。物性値として報告されている水の比誘電率⁽¹²⁾は、図4に示すように温度0~100°Cの低い温度範囲だけであり、より高温条件の値は示されていない。そこで、本試験では圧力2 MPa, 4 MPa, 7 MPaの高圧条件下で水单相の静電容量を測定し、測定結果を図4に示す。図4より、温度0~100°Cの誘電率の温度依存性は比較的大きいが、約200°C以上の高温条件での温度依存性は小さかった。また、本研究の200°C以上の温度依存性は図中の曲線で表した。圧力18 MPaの試験では飽和温度に対する静電容量を用いた。

・ **蒸気单相の C_g 測定結果** ボイド率100%の C 値 C_g は蒸気单相の流路内・濡れ壁状態のボイド率100%の測定値を基準値として用いる。図5(1)にボイド率計VDがボイド率100%に至る過程を概念図で示す。ボイド率計の加熱部長さの出口位置(高さ1205 mm)にある。試験では、試験部出口弁を閉として上部に蒸気を蓄積し容器内の液面を低下させることによりボイド計測電極部を露出させた。図5(2)に圧力7 MPaにおける熱入力 Q_{TS} 、バンドル内の差圧計、ボイド率計

(VD)の測定結果を示す。図5(2)より、 $Q_{T-s}=51\text{kW}$ 設定後、約9分後、 ΔP 測定値が減少し始めてボイド率計は変動のない一定値を示した。ボイド率計をはさむ差圧計 ΔP が蒸気単相の水頭 ρgh 相当の値を示すことからボイド率100%状態であることを確認した。

Fig. 4 Capacitance dependence on water temperature

Fig. 5(1) Exposure profile of electrode in test section

Fig. 5(2) Measured result of void fraction and ΔP

2.4 圧力18MPa 条件下のC計測法によるボイド率測定結果 2.1に示したFBRの蒸気発生器細管を模擬した円管試験装置にボイド計測部を取り付け、軽水炉炉心圧力条件よりさらに高压の18MPa条件においてボイド測定を行った。図6に加熱量一定、質量速度473～1892 $\text{kg/m}^2\text{s}$ に対する測定結果を示す。

高压条件では、飽和温度が高くなると共に気液の密度比(静電容量比)は小さくなり、原理的に計測感度が低下する。本計測においても、水温度が 356°C と臨界温度 374°C に近い高温となるため、ボイド率0、100%に相当するC測定値はそれぞれ、2pF、0.1pFと気液の静電容量比は小さくなった。ボイド率0～100%のボイド率は、気液単相のC測定値を次式で内挿することにより次の(2)式で求める⁽¹⁶⁾。

$$\frac{I}{I_{\alpha=0}} = \frac{1-\alpha}{1+0.5\alpha} \quad (\text{Maxwellの式}) \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1-C^*}{1+0.5C^*} \quad (\text{C計測法}) \quad (2)$$

$$C^* = \frac{C(\alpha) - C_{\alpha=100}}{C_{\alpha=0} - C_{\alpha=100}} \quad (3)$$

このように小さなC測定値変化の範囲内でボイド率測定を行わなければならないため、計測感度の向上が必要となる。R計測法と同様に、高温水中で長期間、電極を使用すると計測感度が低下する傾向があり、R計測法では計測不能となったがC計測法では計測感度が低下するだけで計測は可能であった。また、ボイド率計は流れ方向の異なる位置(2箇所)に設置したが、ボイド率計の電源周波数が商用電源周波数(50Hz)の整数倍になると交流の同調現象が発生し、信号が不安定となる。そこで、電源周波数を50Hzと異なる周波数に設定することにより同時測定が可能となった。

図6より、ボイド率測定結果は下流側でボイド率が大きくなり、また加熱量一定の条件で質量速度が減少するとボイド率が高くなる傾向が測定された。

Fig. 6 Void fraction measurement result of steam generator two phase flow tube (18MPa) in pressure, $q''=170 \text{ kW/m}^2$ in heat flux)

3. 高压条件下のC計測法の妥当性確認

C計測法によるボイド率測定値の妥当性を確認するため、急速遮断弁によるボイド率計測法の測定値と比較した。ボイド率測定を行った試験部は、C計測法が37本バンドルの7MPa加熱体系、急速遮断弁による方法が19本バンドルの

非加熱体系である。図7に37本バンドル、図8に19本バンドル試験部の概要を示す。それぞれの試験部形状寸法を下記に示す。ここで水力等価直径はロッド1本当たりの値を示す。

Table 1 Test section geometries measured with C- and Q. S. method

Measurement method	C-method	Q.S. method
Number of rods	37	19
Outer rod diameter[mm]	13	12
Rod gap[mm]	1.3	
Hydraulic diameter[mm]	4.34	4.25

2つのバンドル体系はロッド外径が少し異なるが、37本体系は中心ロッドを含む六方格子配列の4層配列であり、その内側の3層部分が19本体系である。水力等価直径がやや異なるが、その差異が及ぼす流路断面平均ボイド率への影響は、ボイド率評価によく用いられるドリフトフラックスボイド率相関式⁽⁴⁾により、クオリティ5%以上において高々1%と小さいこと評価された。ただし、後述するように発熱/非発熱の及ぼすボイド率分布の影響は測定結果の差異に見られた。圧力条件は18MPaが望ましいが、急速遮断弁によるボイド率測定が難しいので2MPaとした。

Fig. 7 37 Bundle and measurement system⁽¹⁾

3.1 C計測法によるボイド率測定 C計測法によるボイド率計は図7に示すように直径25mm、セラミック製の電極対を試験流路内面に対向するように取り付け、電極にLCR計を用いて高周波定電圧を印加し、二相流のC成分を測定した。

3.2 急速遮断弁の閉じ込め法によるボイド率測定

急速遮断弁によるボイド率計測法では、流体を瞬時に封止する高速回転板(Quick Shut Valve: Q.S.)を用いて流体を封じ込めて水量を差圧計測により測定する。校正試験部(封止部)は図に8示すように、高さ方向に隙間部の計量誤差評価上、2分割構造としており上部長さは下部長さの1/2である。

Fig. 8 Test section with quick-shut valve(QSV) for void fraction measurement⁽¹⁰⁾

3.3 C計測法とQ.S.法のボイド率の相互比較 Q.S.法とC計測法の測定結果を図9に示す。図には、C計測法(図中はC)と急速遮断弁閉じ込め法(図中はQ.S.)によるボイド率測定結果、対数関数で近似した曲線及び両者の差(C-Q.S.)を示し、それぞれのボイド率測定値の比較が可能にした。

Fig. 9 Compared result between C and Quick-shut valve method void fraction measurement (2MPa in pressure, 400~2000kg/m²s in mass flux)⁽¹⁰⁾

図9より、両方で測定されたボイド率とクオリティとの関係はよく似ているが、傾向的にC計測法のボイド率がQ.S.法より大きい傾向を示した。両者のボイド率偏差を図中にC測定値-Q.S.法測定値(C-Q.S.)で示すが、クオリティ0.05付近で最も差異が大きく、クオリティが増すと共に両者は漸近し、差異は4%~8%の範囲であった。差異が生じる原因として考えられるのは、C計測法の37本バンドル試験部が発熱体系、Q.S.法の19本バンドル試験部が非発熱体系という発熱条件の差異が考えられる。発熱系では各ロッドからの出力分布が一樣であるため、断面内のボイド率分布は比較的一様と近いと考えられるが、非発熱体系では流路中央で大きく、流路壁付近は小さくなる傾向があると考えられる。その結果としてQ.S.法の断面平均ボイド率が小さくなったと考えられる⁽¹⁰⁾。図9より、C計測法によるボイド率計測法の妥当性は一定の

範囲で確認することができる。圧力条件は 2MPa であるが、飽和水の静電容量は水の温度に比例して連続的に緩やかに変化する。したがって、図9で評価したC計測法によるボイド率計測法の妥当性が 18MPa の圧力条件に適用するとみなしても誤りではないと考えられる。

3.4 特性式が双曲線特性となる等価回路の描像 これまでに述べた一般的な流路の気液二相流に対するC計測法の特性式は双曲線関数となるが、これを電気回路的に理解するため等価回路を推定し、図10に示す。双曲線状特性となる場合としては、計測部空間内の気液二相流のインピーダンス・C成分が多数の直列かつ並列に接続した、外側境界部に向けてC成分が漸減するような太鼓型の合成回路がイメージされる。これから、図10右の特性線は直線： $C^* = C \propto (C \text{ の並列回路})$ と双曲線： $C^* = \alpha / C (C \text{ の直列回路})$ の間に位置するような双曲線と見做せることから図示した等価回路を描像した。また、別途実施した異なる電極体系（流れ方向にリング状電極対を設置した体系）の特性試験結果⁽¹²⁾では直線となることを確認しているが、この場合は計測領域・境界が一定でインピーダンスが漸減することがないためと考えられる。この結果から、双曲線関数特性となるのは空間内のボイド率を対向設置した電極で計測する電極体系の特性であると考えられる。

Fig.10 Equivalent circuit of void fraction measurement with capacitance method

4. まとめ

本研究では、静電容量検出式ボイド率計(C計測法)を高温高压条件へ適用し、以下の結果が得られた。

1. セラミック端子付MIシース型電極部により、耐高温・耐高压・電気絶縁性・耐久性を確保する静電容量検出型(C計測法)ボイド率計測部を設計した。
2. 1.のボイド率計測用電極部・信号線からなる計測回路の簡素化を行い、圧力18MPa条件のボイド率を測定した。
3. 急速遮断弁法によるボイド率測定値とC計測法による測定値を圧力2MPa条件で比較した。加熱系と非加

熱系の差異が及ぼすボイド率への影響が見られたが、C計測法によるボイド率測定値の妥当性が確認できた。

謝辞

本研究の実施に際して、日本原子力研究開発機構・工務技術部工作技術課の方々、エネルギーシステム研究部大貫晃氏(現、三菱重工(株))、玉井秀定氏、助川電気工業(株)及びアート科学(株)にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- (1) Atomic Energy Society of Japan ed., *Multiphase Flow Measurement Method*(in Japanese), (2003), Morikita Publishing Co., Ltd.
- (2) Cimorelli, L. and Evangelisti, R., The application of the capacitance method for void fraction measurement in bulk boiling conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 10(1967), pp. 277-288.
- (3) Mi, Y., Ishii, M. and Tsoukalas, L.H. Investigation of vertical slug flow with advanced two-phase flow instrumentation, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 204(2001), pp. 69-85.
- (4) Inoue, A., Kurosu, T., Aoki, T., Yagi, M., Mitsutake, T. and Morooka, S., Void fraction distribution in BWR fuel assembly and evaluation of subchannel code, *Journal of Nuclear Science and Technology* Vo. 32, No.7(1995), pp.629-640.
- (5) Hori, K., Akiyama, Y., Miyazaki, K., Kurosu, T. and Sugiyama, S., Void fraction in a single channel simulating one subchannel of a PWR fuel assembly, *Two-phase flow modeling and experimentation* (1995).
- (6) Watanabe, H., Iguchi, T. and Kimura, M., Development of conductance-type void fraction meter, *JSME annual meeting*, No.4(2002), pp.233-234
- (7) Watanabe, H., Iguchi, T., Kimura, M. and Anoda, Y., Development of quick-response area averaged void fraction meter, *JAERI-Research 2000-043* (2000).
- (8) Iguchi, T., Watanabe, H., Kimura, M. and Anoda, Y., Development of quick-response area averaged void fraction meter - application to BWR condition-, *JAERI-Research 2001-032* (2001).

- (9) Asaka, H. , Iguchi,T., Watanabe, H. , Nakamura, H. and Sagawa, J., Development of high pressure conductance type void fraction meter for transient boiling experiments , *Proceedings of Fall meeting of the Atomic Energy Society of Japan(2003)*, F46.
- (10) Watanabe, H., Mitsutake, T., Kakizaki, S. and Takase, K, Experimental study on feasibility of capacitance void fraction meter, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol. 74, No.742 (2008), pp. 435-436
- (11) Watanabe, H. , Mitsutake, T., Kakizaki, S. and Akimoto, H, Electro-void fraction meter development and application to tight lattice rod assembly within reduced moderation water reactor , *Proceedings of the 9th National symposium of power and energy systems*(2004), pp.69-70.
- (12) Watanabe, H., Mitsutake, T., Kakizaki, S. and Takase, K, Experimental study on feasibility of capacitance void fraction meters, *Proceedings of the 13th National symposium of power and energy systems* (2007), pp.77-78.
- (13) Tamai, S. , Takase, K., Shibata, M. and Hayafune, H., Flow instability experiments on steam generator with straight double-walled heat transfer tube for FBR (2) Experimental Results under High Pressure Conditions, *2007 Fall Meeting of the Atomic Energy Society of Japan, K58*, (2007).
- (14) Kureta, H. , Yoshida, H., Tamai, H., Ohnuki, A. and Akimoto, H., Thermal-Hydraulic Estimation in Tight-Lattice Rod Bundles for Development of the Innovative Water Reactor for Flexible Fuel Cycle, *Progress in Multiphase Flow Research* 3, (2008), pp.99-109.
- (15) The Society of Chemical Engineers, Japan, Chemical engineering handbook(in Japanese), 5th edition, (2004), Maruzen Co., Ltd
- (16) Maxwell, J. C. , *A treatise on electricity and magnetism*, 3rd ed. ,(1954), Vol. 1, Chapter 9, Article 314, Dover, New York